

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra konstrukce výrobních strojů a konstruování

# **Návrh čistícího stroje v procesu výroby předních světlometů**

Design of Cleaning Machine in the  
Process of Headlamps Production

Student: Bc. Tomáš Kučera

Osobní číslo: KUC0250

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Hapla

Ostrava 2020

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Kučera**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Návrh čistícího stroje v procesu výroby předních světlometů**  
**Design of Cleaning Machine in the Process of Headlamps Production**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Vypracujte konstrukční návrh čistící stanice pro světlometry v procesu výroby. Stroj musí být univerzálně použitelný pro všechny typy světlometů. Použijte vhodné automatizované manipulační zařízení. Dodržujte konstrukční zásady, použití normalizovaných a již zavedených dílů. Výchozí parametry a seznam požadavků stroje určí zadavatelská společnost.

Práce bude obsahovat:

- řešení klíčových prvků stroje,
- konstrukční návrh čistící stanice,
- potřebné pevnostní simulace,
- výrobní dokumentaci,
- srovnání původní a vypracované varianty.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
KALÁB Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: části spojovací*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8  
NĚMČEK, Miloš. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: spoje*. Ostrava: Ediční středisko VŠB, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8  
LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Úvaly: Albra, 2003, 888 s. ISBN 80-86490-74-2

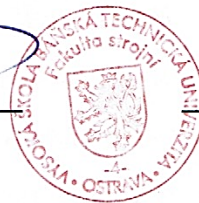
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Hapla**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje získané od společnosti  
[redacted] společnost s jejich zveřejněním  
souhlasí.

V Ostravě dne 18. května

[redacted]  
=====

Podpis studenta



#### Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující společnost:

[REDACTED]

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

[REDACTED]

V Mohelnici dne 13. května 2020.


[REDACTED]

Podpis oprávněné osoby

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou\*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů že tato diplomové práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020.

  
.....  
Podpis studenta

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KUČERA, Tomáš. *Návrh čistícího stroje v procesu výroby předních světlometů: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 69 s. Vedoucí práce: Ing. Hapla, Tomáš.

Diplomová práce se zabývá návrhem čistícího stroje v procesu výroby světlometů zadavatelské společnosti. Teoretická část popisuje čistící vzduchovou techniku a průmyslové roboty. V praktické části je zvolené vhodné manipulační zařízení a pomocí metody konečných prvků provedena pevnostní zkouška upevnění robota. Dále jsou v práci popsány konstrukční změny klíčových prvků. Součástí práce je i návrh tří variant součástí pro upevnění trysky a kamery. Tyto držáky byly podrobeny pevnostní a modální analýze pro ověření jejich použití. V závěru je provedený experiment pro ověření účinnosti nového návrhu čistícího stroje.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

KUČERA, Tomáš. *Design of Cleaning Machine in the Process of Headlamps Production: Master thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, department of production machines and design, 2020, 69 p. Thesis head: Ing. Hapla, Tomáš.

The Master Thesis deals with the design of the cleaning machine in the process of production by cooperating company. The theoretical part describes the cleaning technology and industrial robots. In the practical part is handling equipment chosen and strength analyses are performed by means of the final element method to proposal of the robot's fixing. Furthermore, the work describes the design changes of main parts. Part of the work is also the design of three variants of components for mounting the nozzle and camera. These holders were subjected to strength and modal analysis to verify their use. Finally, an experiment is performed to verify the effectiveness of the new design of the cleaning machine.

## Obsah

Seznam použitých značek, symbolů a zkratk	10
Úvod	11
1 Průmysl 4.0	12
2 Čistící vzduchová technika	14
2.1 Kompresory	14
2.2 Dmychadla	14
2.3 Ventilátory	15
2.4 Vývěvy	16
2.5 Vzduchové trysky	16
2.6 Vzduchové filtry	19
3 Průmyslové roboty	20
3.1 Druhy průmyslových robotů	21
3.2 Výrobci	25
4 Zadání	26
4.1 Popis čistícího stroje	26
4.2 Původní varianta	26
4.3 Požadavky	27
5 Konstrukční návrh čistícího stroje	29
5.1 Manipulační zařízení	29
5.1.1 Varianta č. 1 – Portálový robot	30
5.1.2 Varianta č. 2 – Pětiosý robot	30
5.1.3 Varianta č. 3 – Kolaborativní robot	31
5.1.4 Vyhodnocení	32
5.2 Upevnění robota	33
5.3 Odsávání	35
5.4 Filtrace	36
5.4.1 Varianta č. 1 – Víko filtračního boxu se šrouby	36
5.4.2 Varianta č. 2 – Víko filtračního boxu s otočnými šrouby	37
5.4.3 Varianta č. 3 – Víko filtračního boxu se stahovacími sponami	38

5.4.4	Vyhodnocení.....	38
5.5	Prachová vana .....	39
5.6	Prachový box .....	40
5.6.1	Varianta č. 1 – Upevnění prachového boxu nasunutím.....	40
5.6.2	Varianta č. 2 – Upevnění prachového boxu šrouby .....	41
5.6.3	Varianta č. 3 – Upevnění prachového boxu sponami.....	41
5.6.4	Vyhodnocení.....	41
5.7	Tryska .....	42
5.7.1	Varianta č. 1 – Statická tryška.....	42
5.7.2	Varianta č. 2 – Nízkotlaká rotační vzduchová tryška.....	42
5.7.3	Varianta č. 3 – Vysokotlaká rotační vzduchová tryška .....	43
5.7.4	Vyhodnocení.....	43
5.7.5	Ionizace.....	44
5.8	Kamera.....	45
6	Návrh upevnění trysky a kamery .....	46
6.1	Varianta č. 1 – Součást z plechu .....	47
6.2	Varianta č. 2 – Součást z hliníkové slitiny.....	49
6.3	Varianta č. 3 – Součást z plastu .....	50
6.4	Výhodnocení variant.....	53
7	Posouzení účinnosti.....	54
7.1	Postup experimentu.....	54
7.2	Experiment.....	55
7.2.1	Příprava.....	55
7.2.2	Čištění.....	56
7.2.3	Vyhodnocení.....	58
	Závěr.....	61
	Poděkování .....	63
	Seznam použité literatury .....	64
	Seznam přiložené výkresové dokumentace.....	68
	Seznam příloh.....	69

## Seznam použitých značek, symbolů a zkratek

Označení	Jednotka	Význam
<i>ABS</i>	[1]	akrylonitrilbutadienstyre
<i>F</i>	[N]	síla
<i>PET-G</i>	[1]	polyetyléntereftalát s glykolem
<i>S</i>	[m <sup>3</sup> /h]	čerpací rychlost
<i>f</i>	[Hz]	otáčková frekvence
<i>f<sub>b</sub></i>	[Hz]	budící frekvence
<i>f<sub>b+20%</sub></i>	[Hz]	budící frekvence + 20 %
<i>g</i>	[m/s <sup>2</sup> ]	gravitační zrychlení
<i>k</i>	[1]	koeficient bezpečné frekvence
<i>m</i>	[kg]	hmotnost
<i>n</i>	[ot/min]	otáčky za minutu
<i>p</i>	[bar]	tlak
<i>t</i>	[s]	čas
<i>α</i>	[°]	úhel sklonu

## Úvod

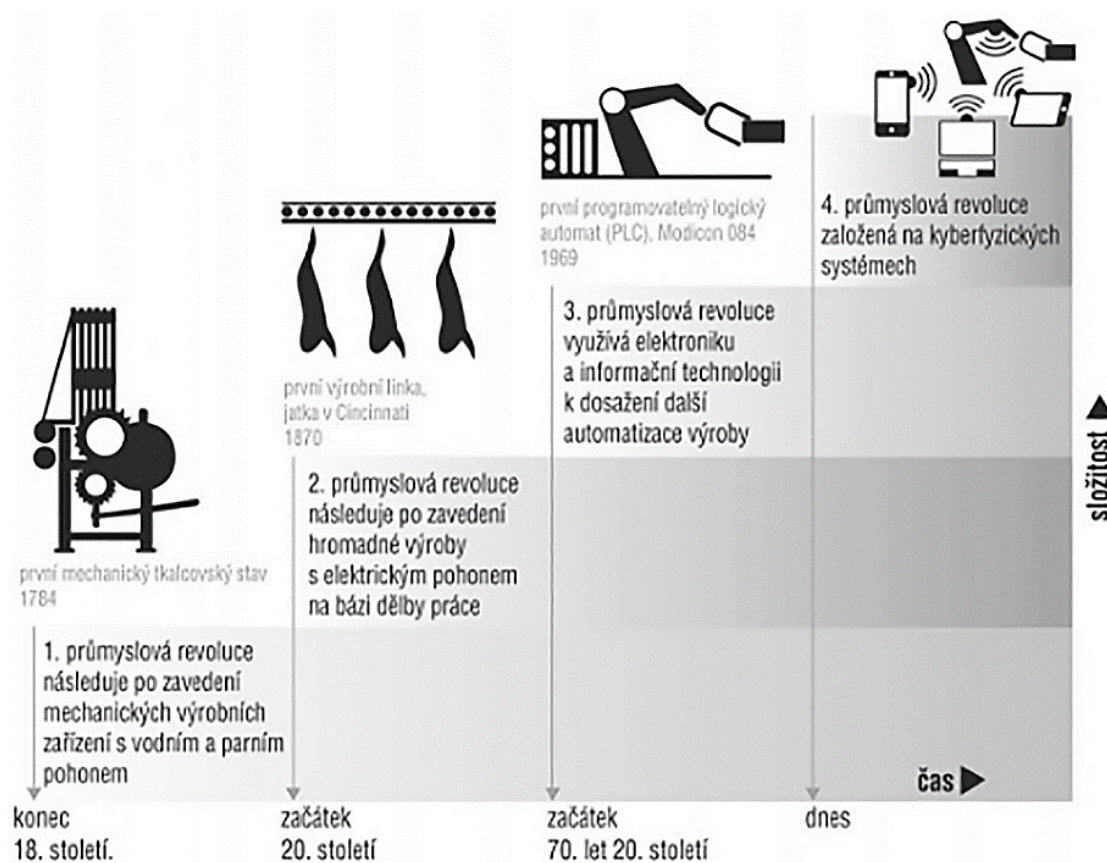
Téma diplomové práce bylo navrženo ve spolupráci s nadnárodní společností, která se zabývá vývojem a výrobou světlometů a zadních skupinových světilen pro prestižní světové automobilky.

V procesu výroby světlometů je mnoho jednoúčelových strojů. Nepostradatelnou součástí výrobní linky je také čistící stroj. Čištění je důležité zejména před závěrečným lepením, aby se zamezilo výskytu nečistot ve finálním výrobku.

Požadavkem zadavatelské společnosti byla optimalizace stávajícího čistícího stroje. Cílem práce je zvolit vhodné manipulační zařízení a další komponenty pro zvýšení účinnosti a automatizace stroje při dodržení stanovených požadavků. Je nutné zvolit vhodnou metodou a ověřit rozdíl účinnosti stávající a nově navržené varianty stroje.

# 1 Průmysl 4.0

Čtvrtou průmyslovou revoluci zapříčinily stále nové technologie, které rychle mění průmysl, ekonomiku i způsob života. Předchozí tři revoluce byly způsobeny rozmachem mechanických výrobních zařízení poháněných párou, příchodem hromadné výroby za pomoci elektrické energie či výpočetní techniky ve výrobě. Čtvrtá průmyslová revoluce nedisponuje pouze v oblasti průmyslové výroby. Zasahuje oblasti od průmyslu přes oblast technické standardizace, bezpečnosti, systému vzdělávání, právního rámce, vědy až po trh práce nebo sociální systém. [1, 2]



Obr. 1.1 Průmyslové revoluce [2]

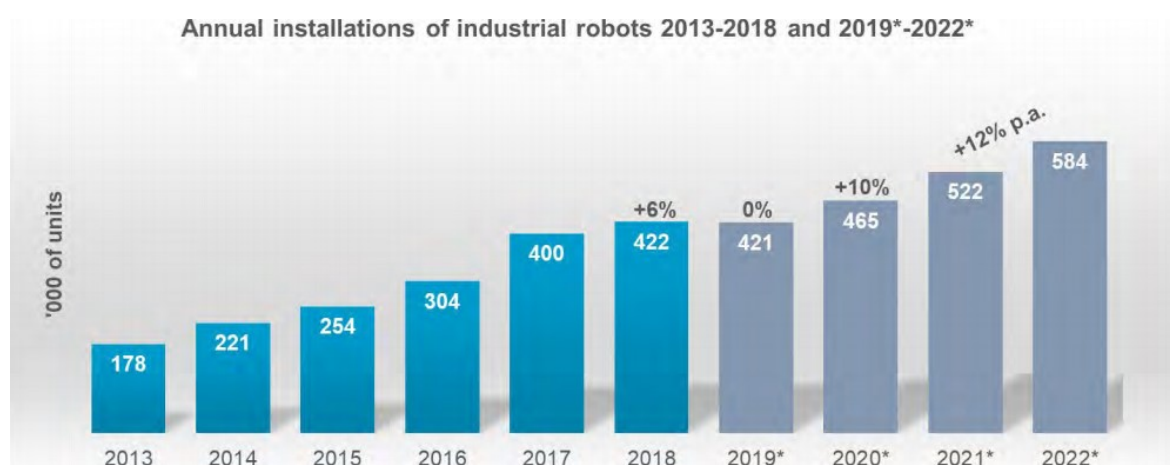
Průmysl 4.0 je dnes jedním nejčastěji zmiňovaným pojmem v průmyslové sféře. Tento trend není jen o využití průmyslových robotů, automatizace výroby či digitalizace. Tyto tři části prostupují různými disciplínami a dochází k zefektivnění, větší flexibilitě, zpřesnění a zrychlení výroby spolu s úsporou lidských zdrojů, surovin a nákladů. [14]

S pojmem robotizace, kdy je lidský faktor nahrazen průmyslovými roboty, se často hovoří o úbytku pracovních pozic. Avšak robot nikdy nemůže vykonávat všechny činnosti jako člověk, což dokazují i příklady z praxe. Lidé se nemusí bát, že je roboty připraví o práci, ale musí se připravit na změny ve společnosti a neustálé vzdělávání. To, že čtvrtá průmyslová revoluce lidem práci nebere, ale spíše nová pracovní místa vytváří, si také



uvědomuje Evropská unie, která robotizaci podporuje. Do konce roku 2020 by měly roboty díky investicím z EU vytvořit 240 000 pracovních míst v průmyslu i v dalších odvětvích. V současné době jsou díky tomu právě programátoři robotů jedněmi z nejžádanějších pracovníků. [15]

Robotizace je čím dál častější. Roboty jsou v průmyslu častěji a neustále se inovují. Automatizace průmyslovými roboty se rozvíjí velmi dynamicky. Předpokládaný meziroční nárůst se pohybuje okolo 10–12 %. Roboty se objevují ve všech odvětvích průmyslové výroby, od potravinářského přes elektronické až po automobilové, kde jsou zastoupeny nejvíce. Díky splňování přísnějších hygienických norem, jsou často využívány i ve zdravotnictví. [16]



Obr. 1.2 Růst počtu robotů v průmyslu za roky 2013 až 2022 [17]

Firmy, které investují do nových inovací, hlásí návratnost v řádu měsíců nebo několika let. Díky automatizaci je jistá nejen návratnost z finančního hlediska, ale také v podobě lidského zdraví. Lidé nemusí pracovat v náročném prostředí a s těžkými břemeny. Tím chrání své zdraví a jejich výkon je pro firmu ekonomičtější. Automatizační technika umožňuje společnostem být nezávislé na dostupnosti pracovní síly, a proto jsou schopnější pružně reagovat na výkyvy poptávky. Snížením lidského faktoru a automatickým nastavením průmyslových robotů se snižují chybovost, protože programovatelný robot se drží zadání. Z toho vyplývá vyšší produktivita práce a stálejší kvalita finálního výrobku. Pokrok je nezadržitelný a pro firmy, které chtějí být na trhu konkurenceschopné, je alespoň částečná automatizace nevyhnutelná. [16]

## 2 Čistící vzduchová technika

Téměř v každém průmyslovém odvětví se alespoň částečně objevuje čistící vzduchová technika v některé z jejích podob. Jedná se o důležitou část při výrobě, údržbě nebo servisu různých výrobků a zařízení. Dále budou blíže popsány některé z jejích prvků.

### 2.1 Kompresory

Jedná se o vysokotlaké systémy se stlačeným vzduchem. Ten je podobně jako elektřina zařazen mezi sekundární zdroje energie. Jedná se tedy o přetvořenou formu energie, která byla transformací získána z primárních energií. V kompresorech se mění mechanická nebo kinetická energie v energii tlakovou, při čemž se vyvíjí teplo. Zařízení na výrobu stlačeného vzduchu zasahují téměř do všech odvětvích průmyslu. Na pohon kompresorů se celosvětově vynakládá až 30 % celkové spotřeby elektrické energie. Proto v poslední době vznikají nové typy a stále se vylepšují. Mezi výhody stlačeného vzduchu patří dostupnost média kdekoli a v jakémkoliv množství, ekologická nezávadnost, nehořlavost, nevýbušnost, nehrozící znečištění okolí unikajícím médiem. [3]

Kompresory můžeme rozdělit do mnoha skupin. Hlavní rozdělení je podle způsobu stlačování na objemové a rychlostní (dynamické). U objemových kompresorů s ventilovým rozvodem dochází ke zvýšení tlakové energie zmenšením pracovního prostoru ve válci, v kterém je plyn uzavřen. Periodické změny objemu se dosahuje přímočarým vratným pohybem pístů u kompresorů pístových, nebo prohýbáním pružné membrány u kompresorů membránových. U dynamických kompresorů, které se dělí na turbokompresory lopatkové a proudové, je pracovní prostor neměnný. Kinetická a z části tlaková energie plynu se zvyšuje v oběžném kole. Ve statoru za rotorem se kinetická energie mění na tlakovou. Dalším dělením je podle počtu stlačených stupňů na jednostupňové, dvoustupňové, třístupňové atd. U více stupňových se opakuje stlačení a ochlazení před vstupem do dalšího stupně. V neposlední řadě se kompresory rozdělují podle konečného tlaku na nízkotlaké (do 2,5 MPa), středotlaké (2,5 až 10 MPa) a vysokotlaké (10 až 250 MPa). [3]

### 2.2 Dmychadla

Dmychadla se řadí mezi nízkotlaký systém, který se využívá na aplikace, kde je potřeba neustálého přívodu vzduchu, a ne vysokých účinností. Nejčastější využití je při kontinuálním sušení výrobků na lince. Hlavní výhodou je nižší cena spotřebovaného vzduchu. Naopak hlavním negativem je doba rozběhu při přerušovaném provozu. Ten trvá v řádech sekund a není proto vhodný pro aplikace s krátkým taktem. Rozdíl tlaku

u nízkotlakého rozvodu je zhruba do 0,1 MPa. Vzduch se nebere z centrálního zařízení pomocí rozvodů, ale přímo z nedalekého dmyhadla, které stlačuje vzduch. [18, 19]

Jedná se o rotační stroje, které přečerpáváním vzduchu vytváří podtlak nebo přetlak. Mohou přepravovat vzduch, plyn nebo směs plynů. Standartní provedení dmyhadel mají čerpací rychlost až 10 000 m<sup>3</sup>/min a přetlak až 1 bar (0,1 MPa). Dmyhadla se používají v mnoha odvětvích od provzdušňování nádrží při chovu ryb, přes chlazení vodní hladiny uhelných elektráren, až po transport hořlavých plynů k hořákům. [4, 18]

Dělíme je na dmyhadla s bočním kanálem a Rootsova dmyhadla. S bočním kanálem se využívají k vytváření laminárního proudění kolem rotoru a jsou nejčastěji používána pro tvorbu tlakového rozdílu do 0,5 bar (0,05 MPa). Mohou být jednostupňová nebo dvou stupňová a umožňují trvalý nebo přerušovaný chod. Tato dmyhadla jsou ideální pro procesní přepravu plynů. Používají se pro transport plynů a sypkých materiálů nebo jako centrální vysavače. [18]

Rootsova dmyhadla pracují na principu rotujících pístů, které odčerpávají vzduch ze vstupu směrem k výfuku. Vyhledávaná jsou nejčastěji kvůli tlakovému rozdílu do 1 bar. Řadí se mezi bezolejová dmyhadla. Jsou ideální pro generování velkého objemového průtoku za přetlaku 1 bar (0,1 MPa) nebo podtlaku 0,8 bar (0,08 MPa). Využívají se pro přepravu v rafinérských a oxidačních procesech, jako centrální zdroj pro roboty s podtlakovým uchopováním nebo pro přepravu sypkých a granulových látek. [18]

## 2.3 Ventilátory

Mezi nízkotlaké systémy lze zařadit i průmyslové ventilátory, které se používají pro přepravu vzduchu nebo plynů. Dělí se na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké průmyslové ventilátory. Nízkotlaký poskytuje zdroj přetlaku nebo podtlaku pro tlakové rozdíly do 2 200 Pa (0,0022 MPa) s využitím například pro potrubní poštu. Středotlaké mají tlakový rozdíl do 10 500 Pa (0,0105 MPa) a využívají se pro větrání, sušení, odplynění nebo pro dodávání vzduchu ve spalovnách. Vysokotlaké s tlakovým rozdílem do 17 300 Pa (0,0173 MPa), které jsou ideální pro provzdušnění a odvětrávání svařovacích nebo lakovacích pracovišť. Dále se vyrábí velkoobjemové ventilátory, které poskytují zdroj přetlaku nebo podtlaku pro tlakové rozdíly do 10 500 Pa (0,0105 MPa) při čerpacích rychlostech od 25 000 do 400 000 m<sup>3</sup>/h. [4, 20]

## 2.4 Vývěvy

Průmyslové vývěvy jsou zařízení, které odčerpávají vzduch z uzavřeného prostoru vakuové komory. V tomto prostoru následně vzniká vakuum, které má tlak nižší než atmosférický. Vývěvy jsou určeny pro průmyslové použití a trvalý i přerušovaný provoz. Dělíme je podle konstrukční technologie na různé řady. Například rotační olejové vývěvy s čerpací rychlostí od 4 do 1600 m<sup>3</sup>/h a max vakuem 0,1 mbar (10<sup>-5</sup> MPa), které se využívají v potravinářství pro vakuové balení nebo pro uchopení výrobku. Šroubové vývěvy s čerpací rychlostí od 100 do 2500 m<sup>3</sup>/h a max vakuem 20 mbar (0,002 MPa), které se uplatňují pro rychlé vysušení komplikovaných dílů nebo pro odplynění elektro kotlů. Rootsovy vývěvy s čerpací rychlostí od 250 do 10 000 m<sup>3</sup>/h a max vakuem 0,0001 mbar (10<sup>-8</sup> MPa), které se používají pro vakuové pokovování nebo odsátí vzduchu z forem před litím skla. [5, 21]

## 2.5 Vzduchové trysky

Samotné trysky jsou prvotně rozdělené na trysky pro kapalinu nebo pro vzduch, případně obě varianty. Další podrobnější popis se bude věnovat pouze tryskám vzduchovým. Ty se používají na aplikace ofukování, vyfukování, chlazení, zahřívání, sušení nebo čištění. Při práci s otevřeným tlakovým vzduchem obvykle vzniká vysokofrekvenční zvuk, který může poškodit sluch. Tento zvuk vzniká při turbulencích na výstupu trysky. Čím je vzduchový paprsek účinnější a silnější, tím je vyšší hladina hluku, která je zdraví škodlivá. S účinností a silou paprsku rostou i náklady na spotřebu vzduchu. [6, 22]

### Statické trysky

Existuje mnoho druhů vzduchových trysek, které se používají samostatně pro různé aplikace nebo v kombinaci s ofukovací pistolí. Trysky se většinou liší provedením výstupu pro danou aplikaci. Mohou být základní s jednou průchozí dírou, s kulový tvarem s více děrami, více kanálkové hřebenové trysky či dlouhé pro špatně dostupná místa atd. [23, 24]



Obr. 2.1 Statické trysky [24]

Další typy trysek mohou zvýšit účinnost a snížit spotřebu vzduchu. Například Venturiho tryska, která z jedné strany přivádí stlačený vzduch o určitém průtoku a z druhé strany přisává okolní vzduch. Tím je na výstupu mnohem větší a silnější proud vzduchu.

Výhodou této trysky je vyšší účinnost, nižší spotřeba vzduchu, bezúdržbový chod a možnost použití i jako odsávač. [24]



Obr. 2.2 Venturiho trysky [24]

Podobným typem je i Coanda tryska, která má kuželový tvar. Proud vzduchu nevychází z vrcholu kužele, ale prochází přes štěrby z mezikruží mezi válcovou a kuželovou částí. Při jejich opouštění strhává okolní vzduch a tím zesílí výsledný bodový proud vzduchu. Trysky s Coanda efektem mají nižší spotřebu vzduchu a vyšší účinnost. Mohou být i s regulačním provedením s možností plynulého nastavení. [24]



Obr. 2.3 Coanda trysky [24]

Transvektorová tryska (tzv. zesilovací) funguje na principu Venturiho efektu s tím rozdílem, že je regulovatelný proud vzduchu přímo na trysce. Jsou to trysky s obrovským objemovým zesílením proudu vzduchu. Jeden konec trysky vytváří silný proud vzduchu a současně druhý konec vytváří podtlak vysáváním vzduchu z okolí. [24]



Obr. 2.4 Transvektorová tryska [24]

## Rotační trysky

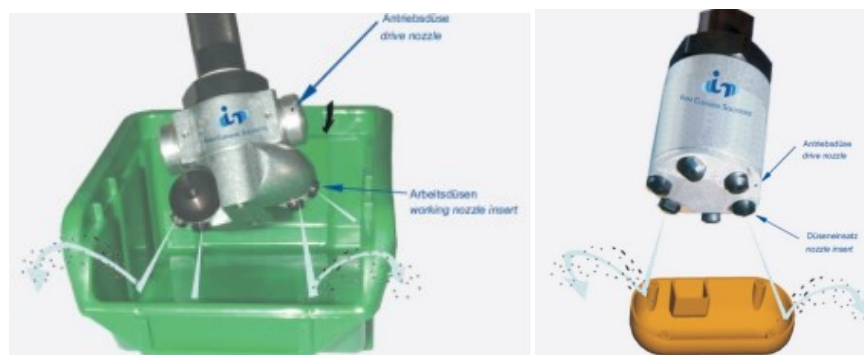
Rotačními tryskami lze docílit dynamického efektu ofukování. Tyto trysky využívají dynamiky rotace a vytvářejí rázovou vlnu tlakového vzduchu. Mají vyšší účinek pro bezkontaktní čištění strukturovaných výrobků jako jsou vstřikované plastové výlisky, desky s tištěnými spoji, přístrojové panely, dřevotřískové desky po broušení atd. [25]

Rotační trysky RT mají vnější nepohyblivou část a do ní vloženou pohyblivou, která se dostává do pohybu při proudění stlačeného vzduchu. Tento pohyb je způsoben navrtáním výstupních otvorů pod určitým úhlem, aby docházelo k rotaci. [25]



Obr. 2.5 Rotační trysky RT [25]

Rotační trysky CRN. Mají unikátní systém rotace, kde jsou otáčky trysky nezávislé na tlaku vzduchu. Rotuje celé tělo trysky. Mají vyměnitelné výstupní trysky o různých průměrech, případně o různých úhlech působení. Další výhodou je možnost kombinace s ionizovaným vzduchem, který eliminuje statickou elektřinu a zvyšuje tak účinnost čištění. Využívají se pro čištění obtížných míst jako jsou nádoby a trubky. [26]



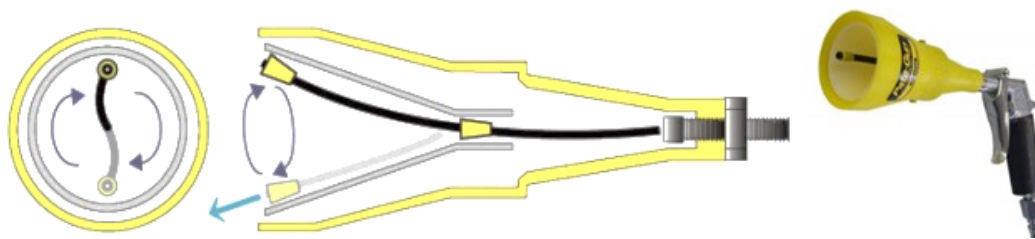
Obr. 2.6 CRN rotační trysky [26]

Rotační tryska LPN je určená pro bezkontaktní čištění a sušení bez potřeby stlačeného vzduchu. Díky tomu je nižší spotřeba vzduchu a jeho víření. Má lehkou konstrukci z plastu a účinnost již při tlaku okolo 0,08 bar. [26]



Obr. 2.7 LPN rotační tryska [26]

Rotační trysky Pata-gun vytvářejí rázovou vlnu tlakového vzduchu. Při průchodu stlačeného vzduchu tryskou dochází k rotaci trubičky z měkkého polyuretanu společně s vnitřním rotačním tubusem. Stlačený vzduch vychází z rotující trubičky a tím vytváří rázovou vlnu se silným dynamickým efektem. Jsou využitelné samostatně nebo montované na ruční pneumatické pistole. [25]



Obr. 2.8 Penta-gun rotační tryska [25]

## Pulzní ventily

Pulzní ventily jsou další možností, jak docílit dynamického rázu při ofukování. Pracují na principu přerušovaného signálu, ke kterému dochází pomocí přerušení elektrického proudu, nebo pomocí pneumatického ovládání. Hlavní výhodou pulzních ventilů přináší nízká spotřeba stlačeného vzduchu. Přerušováním signálu dochází k přerušování dodávky stlačeného vzduchu, což vede k úspoře. Pulzní ventily se mohou použít pro vzduch a plyny, ale i pro kapaliny. [6]

## 2.6 Vzduchové filtry

Vzduchové filtry separují pevné částice z protékajícího vzduchu a zadržují je na svém povrchu. Jsou složeny z vláknitých materiálů, které odstraňují pevné částice jako jsou například prach, piliny nebo bakterie ze vzduchu. Příkladem vláknitých materiálů může být papír, skelné vlákno, syntetické vlákno a polyuretan. Filtry se vyrábějí v různých tvarových provedení jako jsou kazetové ploché, kapsové, kompaktní, válcové filtrační elementy neboli patrony a další. Používají se v aplikacích, kde je kladen důraz na kvalitu vzduchu ať už při vstupu dovnitř nebo ven. Podle použití se mohou dělit na filtry pro mechanizaci (automobily, motocykly, nákladní doprava atd.) nebo filtry pro vzduchotechniku. Využití nachází v budovách, v automobilech, či průmyslových strojích. Podle skupin se řadí na hrubý prach (G1, G2, G3, G4), středně hrubý prach (M5, M6) a jemný prach (F7, F8, F9). Lze se setkat i s rozdělením podle normy EN 1822:2009 na skupiny EPA (E10, E11, E12), HEPA (H13, H14) a ULPA (U15, U16, U17). [7, 8, 27]



Obr. 2.9 Vzduchové filtry [27]



### 3 Průmyslové roboty

Průmyslové roboty se společně s manipulátory a zakladači řadí mezi manipulační zařízení. Manipulátory patří mezi ručně řízené. Umožňují člověku manipulovat s těžkými nebo nebezpečnými předměty, případně i manipulaci v nebezpečném prostředí. Zakladače společně s průmyslovými roboty se řadí mezi programově řízená zařízení. První jmenovaná jsou však pevně naprogramovaná, kdy jsou mechanicky nastavené krajní polohy. Zakladače slouží k přemísťování dílů, materiálu nebo náradí z místa na místo. Průmyslové roboty jsou volně programovatelné (řízené procesorem). Pohyb je možné naprogramovat a korigovat pomocí snímačů. Označení „průmyslový robot“ je vhodné pro manipulační zařízení řízené počítačem, které vykonává úkony blízké se typickým úkonům člověka. To však neznamená, že se musí zcela blížit k manipulačním schopnostem lidské ruky, která má od ramenního kloubu po prsty celkem 27 stupňů volnosti. [9, 10]

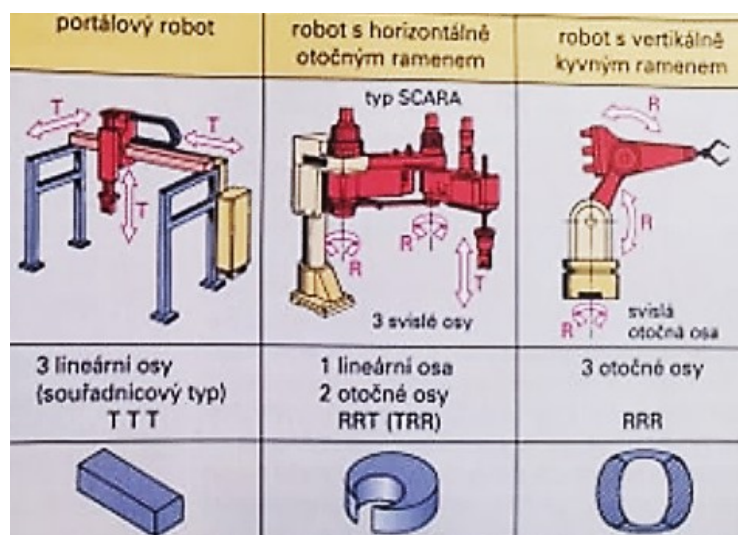
Vlastnosti: [10]

- Manipulační schopnost  
Možnost uchopování, přenášení objektů nebo nástrojů a provádění úprav či montážní činnosti.
- Univerzálnost  
Zařízení neslouží jen k jedné činnosti, ale po změně programu chapadel nebo nástrojů je možné jej použít pro jiné účely.
- Vazba s prostředím  
Vnímání pomocí senzorů (vizuální, akustické, dotekové či senzorické).
- Autonomnost chování  
Automatické vykonávání posloupnosti složitých úkonů podle daného programu.

Parametry robotů: [9]

- Kinetická konstrukce  
Uspořádání tří hlavních os, které určují tvar pracovního prostoru. Mohou být translační osy značené T (posuvné, lineární) nebo otočné osy R (rotační).
- Počet řízených os  
Čím je os více, tím je robot pohyblivější. Pro neomezený pohyb je potřeba 6 os. Můžeme se však setkat i se 7 osami pro lepší pohyblivost a hbitost.
- Pracovní prostor  
Je vyhrazen plochou tvořenou body maximálního dosahu ramene robota. Zároveň se tím určuje i jeho nebezpečná zóna. Podle konstrukce robota může mít tvar kvádra pro typ kinetiky TTT, válce pro TRR nebo koule pro RRR. (viz Obr. 3.1.)





Obr. 3.1 Pracovní prostory robotů [9]

- Jmenovité zatížení

Je maximální hmotnost předmětu nebo nástroje, se kterým může rameno robota vykonávat všechny pohyby bez omezení zrychlení nebo dráhy. Jmenovité zatížení je vždy menší než maximální zatížení pro daný pohyb.

- Rychlost

Udávají se dva typy. Maximální přemísťovací rychlost mezi dvěma body pracovního prostoru a rychlosti pohybu v jednotlivých osách.

- Chyba opakovaného pohybu

Je náhodná chyba v rozpětí  $\pm 0,01$  až 2 mm, která vzniká opakovaným pohybem mezi dvěma pozicemi za stejných podmínek.

- Přesnost polohy

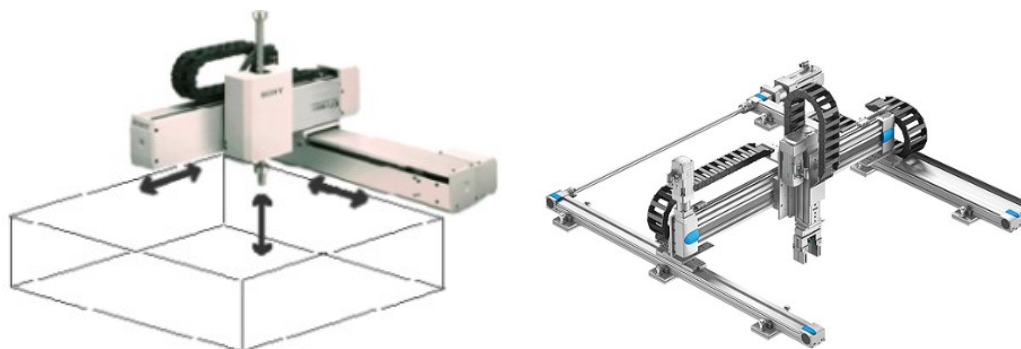
Je maximální odchylka od požadovaného (naprogramovaného) pohybu s jmenovitou zátěží.

### 3.1 Druhy průmyslových robotů

Podle konstrukce budou rozděleny a blíže popsány některé z často používaných druhů průmyslových robotů.

#### Portálový robot

Portálové roboty mají kartézský souřadný systém (X, Y a Z), podle kterého jsou někdy pojmenované jako kartézské roboty. Jejich pracovním prostorem je hranol. Umožňuje tři posuvné vzájemně kolmé pohyby, při kterých nedochází ke změně orientace objektu. K pohybu využívají elektromotory a lineární aktuátory. Disponují kovovým rámem s pojezdy, který stanovuje trasy jednotlivých os a jejich rozsah. Používají se při těžkých a precizních operacích, obvykle jako podavače. [28, 29, 30]

*Obr. 3.2 Portálové roboty [30]*

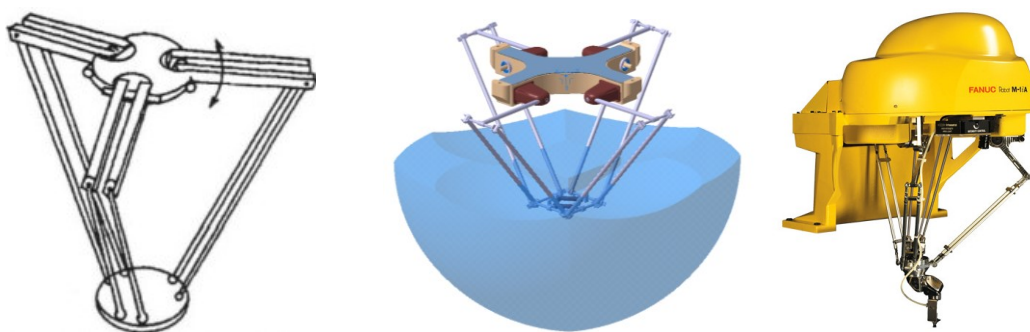
## Robot typu SCARA

SCARA je zkratkou z anglického Selective Compliance Articulated Robot Arm neboli selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno nebo také robot vhodný pro montáž. První SCARA robot byl vyvinut profesorem Hiroshi Makinou na univerzitě Yamanashi v Japonsku roku 1979. Inovativní návrh tehdy znamenal obrovský průlom ve světě robotiky. Roboty typu SCARA mají cylindrickou kinetickou strukturu. Jsou navrženy tak, aby dokonale napodobovaly pohyby lidské ruky. Několikaramenný robot je rychlý, kompaktní a umožňuje přesnou manipulaci s jednotlivými komponenty. Jejich svislá osa je velmi tuhá a mohou vykonávat velmi rychlé pohyby ve vodorovné rovině. Nové typy SCARA robotů jsou menší, mají nízkou váhu, poskytují tak perfektní výkon i přesnost. SCARA roboty patří k nejoblíbenějším metodám automatizované montáže, převážně díky jejich dostupné ceně. Jelikož lze SCARA roboty ovládat na dálku, jsou oblíbené i na pracovištích, která pro člověka nesou určité zdravotní riziko. SCARA robot zvládne zastoupit lidskou činnost a poradí si s chemikáliemi a dalšími nebezpečnými látkami. Nejčastěji se používá k vysokorychlostní montáži, balení, kování a jemné manipulaci s různými součástkami a díly. Mohou se používat ve všech továrnách od automobilek až po potravinářský průmysl. [9, 28, 31]

*Obr. 3.3 SCARA roboty [9, 32]*

## Robot typu Delta

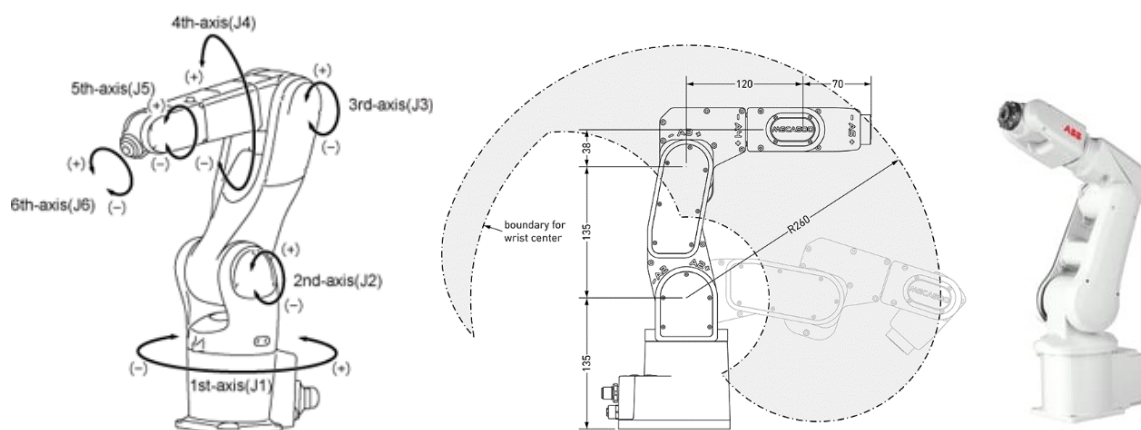
Základem pro tyto stroje je Stewartova plošina publikovaná v roce 1965 D. Stewartem. Jedná se o upořádání šesti délkově proměnných tyčí spojujících nepohyblivý rám stroje pomocí kardanových nebo kulových kloubů s pohyblivou plošinou. Avšak toto řešení se z počátku potýkalo s problémy. Až s vývojem nových materiálů a kloubů, byl švýcarským profesorem Reymondem Clavelem počátkem 80. let vyvinutý první Delta robot. Jedná se o robot s paralelní kinetickou strukturou. Jeho hlavním konstrukčním znakem je použití paralelogramů v ramenech, které mají za úkol udržovat správnou orientaci koncového efektoru. Skládá se ze tří ramen spojených křížovými nebo univerzálními klouby na jedné základně, která je namontovaná nad pracovním prostorem. Konce těchto ramen jsou spojeny s malou trojúhelníkovou platformou s efektem. Ramena mohou být vyrobena z lehkých kompozitních materiálů, protože všechny pohony jsou umístěny v základně. Roboty Delta jsou velmi univerzální. Umí manipulovat i s velmi malými předměty, pracovat na rozsáhlém prostoru s maximální rychlostí a hbitým zrychlením. Umí být velmi rychlé, některé zvládnou až 300 akcí za jednu minutu. Zatížení břemenem se pohybuje od 0,5 do 12 kg. K dispozici jsou 3, 4 nebo 6osé. Delta roboty ocení zejména ve farmaceutickém, potravinářském a chemickém průmyslu. Používají se zejména při manipulaci se součástkami a balení. [28, 33, 34]



Obr. 3.4 Delta roboty [34, 35, 36]

## Šestiosý robot

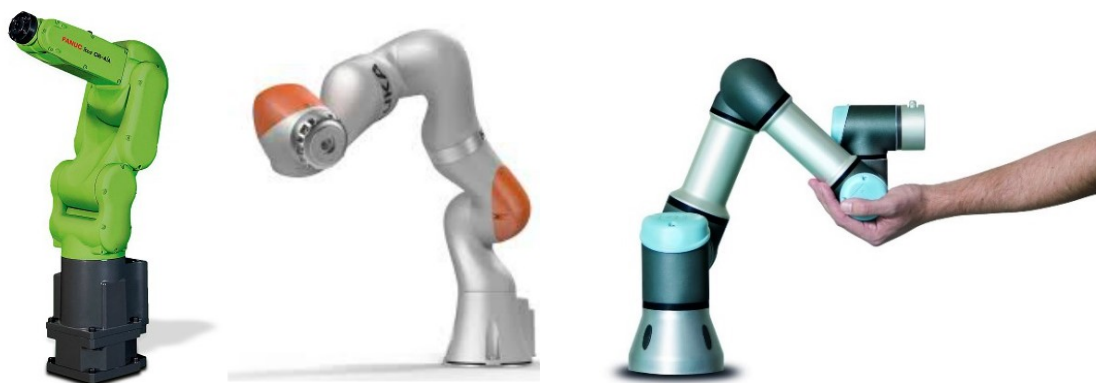
V roce 1969 vynalezl Victor Scheinman na Stanfordské univerzitě první šestiosý kloubový robot Stranford Arm, který vyřešil dosavadní problémy s výpočtem pohybu ramene. Šestiosé roboty mají angulární kinetickou strukturu. Patří mezi roboty s vertikálně výkyvným ramenem neboli kloubové roboty, které mají velký pracovní prostor. V tomto prostoru mají neomezenou možnost pohybu s uchopeným dílem nebo nástrojem. Pohybem ve třech hlavních osách je možné přemístění do libovolného bodu a pohybem ve třech vedlejších osách je možné i natočení do jakéhokoli směru. Šestiosé roboty bývají vybaveny efekty nebo nástroji. Svírací pohyby uchopování předmětů nejsou počítány k pohybům v osách. Mají mnohostranné použití při výrobě, montáži, svařování a lakování. Pro svou univerzálnost se často označují jako univerzální roboty. [9, 28, 37]



Obr. 3.5 Šestiosé roboty [32, 38, 39]

### Kolaborativní robot

Kolaborativní šestiosé roboty neboli koboty jsou trendem dnešní doby, které rozšiřují akční rádius průmyslové robotiky. Samotná myšlenka vznikla už v roce 1995 v rámci výzkumného projektu nadace General Motors Foundation. Spolupracující či kooperující roboty jsou určené k fyzické interakci s lidmi ve sdíleném prostoru. Disponují senzorickým systémem, pomocí něhož se s dotykem člověka zastaví. K tomu slouží senzory v kloubech nebo takzvaná sensitive skin s kapacitními senzory. Koboty mohou být vyrobeny i s měkčeným obložením pro snížení rizika. Všechny musí splňovat bezpečnostní normu ČSN EN ISO 10218. Není tedy zapotřebí žádných mechanických bariér. Kolaborativní roboty umožňují i funkci ručního navádění, kdy obsluha vede paži robota po požadované dráze a robot se tento pohyb naučí a opakuje ho. Pomáhají při různých úkolech, při nichž je potřeba vysoká a stálá přesnost. Vyskytují se v nejrozličnějších odvětvích, ať už jde o obrábění kovů, obalový, distribuční nebo automobilový průmysl. Používají se především pro šroubování, svařování nebo umísťování předmětů. Koboty mohou pracovat bez přestávek a neustále opakovat monotónní úkony. Neplýtvají tak lidským potenciálem, který lze využít pro kreativnější práci. [40, 41]



Obr. 3.6 Kolaborativní roboty [42,43]

## 3.2 Výrobci

Neustále narůstající trend robotizace je očividný. S tím stoupá i samotná výroba a vývoj používaných robotů. Celosvětově se výrobou průmyslových robotů zabývá čím dál více společností. Nelze je tedy vyjmenovat všechny. Následně budou popsány jen některé z nich.

### FANUC

Japonská společnost, která je největším výrobcem automatizační techniky především CNC strojů a průmyslových robotů. Za více než 60 let existence nainstalovala přes 480 000 robotů. Zajímavostí je, že společnost vlastní továrnu, v níž se roboty samy replikují. [29, 44]

### Yaskawa

Další Japonská firma Yaskawa je na trhu více než 100 let a patří mezi přední světové výrobce převážně SCARA robotů. Nainstalovala jich už přes 400 000. [29, 45]

### ABB

Švédská společnost založená v roce 1891. Jedná se o předního výrobce a technologického lídra v elektronice. Robotika spadá do jedné z jeho čtyř divizí. ABB má nainstalovaných přes 300 000 robotů po celém světě. [29, 46]

### Kuka

Společnost založena v roce 1898 se sídlem v Německu. Roboty se zabývá již 50 let. Je přední světový výrobce a jeden z lídrů vývoje průmyslové robotiky. V roce 1973 vyvinula robota s šesti elektromechanicky poháněnými osami. [47, 48]

### Universal Robots

Poměrně mladý výrobce kolaborativních manipulátorů a robotů, který se však dostupností a jednoduchostí svých výrobků dostal rychle mezi globální hráče. Založený v roce 2005 v Dánsku. Má prodaných více než 27 000 kusů a na trhu kolaborativních robotů má 50% podíl. [47, 49]

### Igus

Německá společnost založená v roce 1964 se primárně zabývá výrobou polymerů pro pohyblivé aplikace jakou jsou například ložiska, energetické řetězy a mnoho dalšího. V poslední době se však začala zabývat i levnou automatizací a výrobou low-cost robotů. [48]

## 4 Zadání

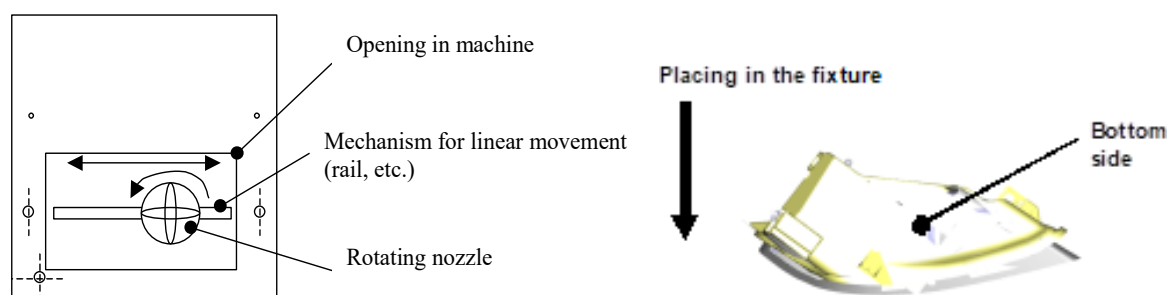
Zadání a požadavky na návrh čistícího stroje v procesu výroby předních světlometů byly vyjednány se zadavatelskou společností.

### 4.1 Popis čistícího stroje

V rámci procesu výroby světlometů je zapotřebí celé pouzdro osazené veškerými komponenty očistit před finálním lepením. Čistící stroj slouží k ofukování světlometů a zadních skupinových svítilen, případně jejich komponentů. Stroj vytváří pulzní neboli dynamické proudění vzduchu, aby odstranil nečistoty z povrchu světlometu. Může se jednat o drobné plastové či kovové úlomky vzniklé při výrobě a montáži nebo o prachové částice z prostředí či nečistoty způsobené obsluhou. Proces foukání probíhá společně s ionizací pomocí ventilačního zařízení nebo trysky. Současně jsou nečistoty odsávány do filtračního systému.

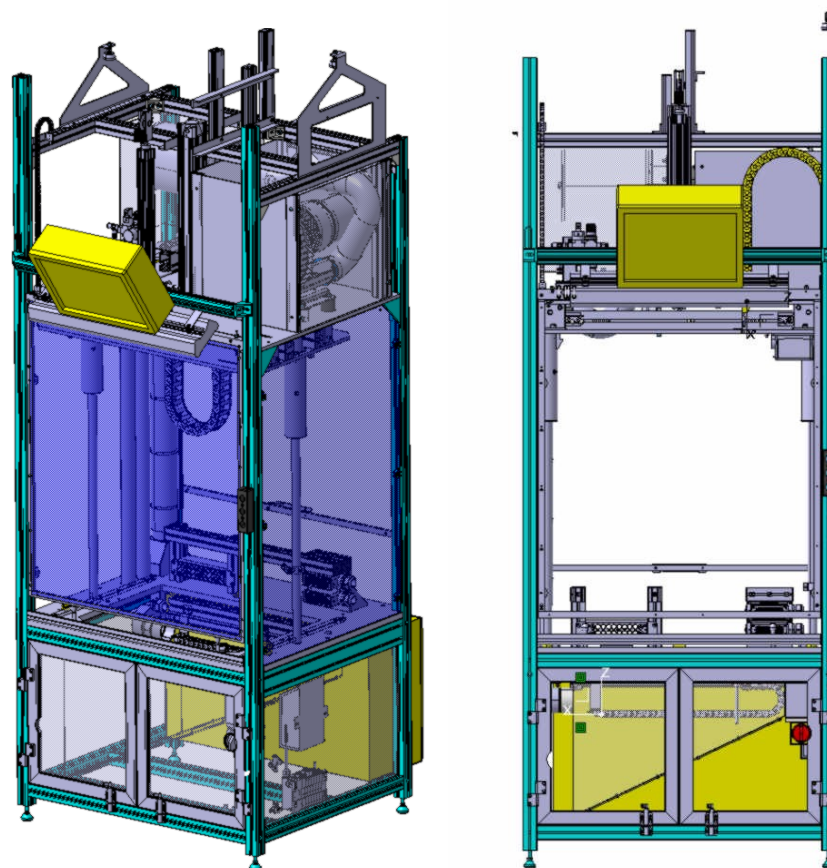
### 4.2 Původní varianta

Původní varianta stroje obsahuje základní, standardizovaný rám včetně dveří. Proudění vzduchu jsou vytvářeny pouze jednou rotační tryskou, která se mechanicky pohybuje pod upevněným světlometem tam a zpět. Pohyb trysky je lineární a univerzální pro všechny projekty. Na konci jednoho cyklu se tryska vrací do výchozí polohy. Pokud je geometrie pouzdra větší, je potřeba více jak jedna tryska a speciální přípravek. Svislá poloha rotační trysky nesmí přesáhnout základní desku stroje. Rychlost otáčení trysky je regulována odstředivou silou. Tím je zajištěna konstantní rychlost otáčení bez ohledu na tlak. Tím se dosáhne optimálního čistícího účinku a zvyšuje se životnost ložiska trysky. Výměna filtru se provádí ze zadní části stroje. Pouzdro musí být umístěno svícením dolů, aby bylo co nejbližší k trysce a spodní strana zařízení musí být během operace vpředu.



Obr. 4.1 Schematický náčrtek lineárního pohybu a umístění pouzdra





Obr. 4.2 Původní čistící stroj

### Nevýhody původní varianty

Mezi hlavní nedostatek původní varianty patří nižší účinnost při čištění. Trysku na lineárním pojezdu nelze více přiblížit dovnitř ani ji naklonit pro důkladnější čištění pouzdra. Po následné manipulaci a přepravě je možný nepatrný výskyt nečistot ve vnitřní části složeného světlometu. Při pohybu lineárního pojezdu dochází k lámání hadic s ionizovaným vzduchem. Další nevýhodou je ulpívání prachu a drobných částí na malém sklonu desky prachové vany a absence otvoru pro její čištění. Nevhodná je i vzdálenost filtru od odsávaného místa či jeho výměna a čištění.

### 4.3 Požadavky

Seznam požadavků:

- čistí stroj musí být univerzální pro různé druhy světlometů,
- musí být vhodný pro automatizovanou výrobu,
- použití vhodného manipulačního zařízení,
- využití pouze jedné rotační trysky s manipulací minimálně ve třech osách,
- nosnost manipulačního zařízení pro zvolenou trysku a příslušenství min 0,5 kg,
- využití konstrukce původní varianty stroje,

- založení pouzdra svícením kolmo k základní desce,
- čas cyklu stroje musí být dokončen do 15 s, případně podle taktu výrobní linky,
- dosažení potřebné účinnosti čištění a odsávání,
- zamezení zachycování nečistot na stěnách odsávaného prostoru,
- doplnění prachového boxu pro čištění vany,
- snadná a rychlá údržba stroje.

#### 4.1 Požadavkový list

Č.	Třída vlastností	Požadavky
1	Funkce, účinky	<ul style="list-style-type: none"> <li>- univerzální čištění předních světlometů</li> <li>- odsávání a filtrace nečistot</li> </ul>
2	Funkční parametry	<ul style="list-style-type: none"> <li>- čistící tlak 5-8 bar</li> <li>- vzdálenost trysky max. 200 mm od čištěné plochy světlometu</li> <li>- objemový průtok odsávání min. 310 m<sup>3</sup>/h</li> </ul>
3	Provozní vlastnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prostředí – výrobní hala</li> <li>- provoz až 24 hodin denně</li> <li>- údržba – čištění 1x měsíčně</li> </ul>
4	Ergonomické vlastnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bezpečnost proti poranění – zabránění kontaktu operátora s manipulačním zařízením, v případě kontaktu okamžité vypnutí</li> <li>- ergonomická pracovní výška – 950 mm</li> </ul>
5	Vzhledové vlastnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>- při zakrytování pracovního prostoru použit průhledný materiál</li> </ul>
6	Distribuční vlastnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- částečně rozebíratelný pro přepravu</li> <li>- přemísťování – pomocí jeřábu nebo vysokozdvizného vozíku</li> </ul>
7	Zákony, předpisy a normy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bez porušení patentových práv, zákonů, předpisů a norem týkajících se zemí</li> </ul>
9	Vhodnost pro výrobu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kusová výroba, individuálně na přání zákazníka</li> </ul>
10	Ekonomické vlastnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 500 000 cyklů čištění ročně</li> <li>- životnost min 8 let</li> </ul>
11	Vhodnost pro likvidaci	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednoduchá demontovatelnost</li> <li>- recyklovatelnost dle tříd ocelových odpadů</li> <li>- bez toxických látek</li> </ul>
12	Konstrukční vlastnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maximální rozměry – 2700 x 1000 x 1050 mm</li> <li>- konstrukce z alutec profilů</li> <li>- spojovací materiál – korozi-vzdorná ocel</li> </ul>



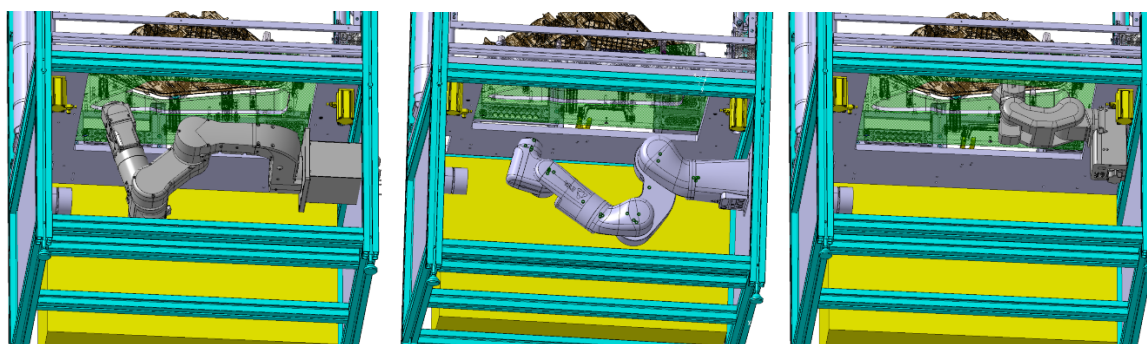
## 5 Konstrukční návrh čistícího stroje

Tato kapitola se zabývá konstrukčním návrhem a volbou vhodných zařízení a částí stroje, aby se zamezilo původním nedostatkům. Zde jsou blíže popsány klíčové prvky stroje, jejich volba a varianty.

### 5.1 Manipulační zařízení

Při čištění světlometu je potřeba s tryskou posouvat, aby očistila celý prostor pouzdra. Jeden lineární směr, který je použit u původní varianty není dostatečně účinný. Větší účinnosti se docílí při pohybu ve třech a více osách.

Pro pohyb trysky lze vybrat několik typů zařízení. První možnost je portálový systém, který umožňuje pohyb ve třech osách. Jako nevhodné manipulační zařízení pro danou aplikaci se ukázalo použití robotů typu SCARA a Delta. Oba typy jsou vhodné zejména pro velmi rychlou manipulaci s drobnými díly. Další překážkou bylo umístění robota horní části a manipulace s díly pod ním. Robot by musel pracovat v netypické, obrácené poloze. Jako další vhodná zařízení se ukázala víceosá robotická ramena. Hlavním problémem těchto robotů byla jejich velikost. Je zapotřebí kompaktních rozměrů a nízké hmotnosti, aby se dalo rameno umístit na boční stranu standardizovaného rámu stroje. Z nejmenších nabízených robotických ramen od různých výrobců, tak většina nevyhovovala. Například Fanuc LR Mate 200iD, ABB IRB 120, KUKA LBR iiwa nebo Epson N series. Případně nesplnili podmínku dosažení všech pracovních krajních bodů jako Yaskawa MotoMini, nebo Automata Eva. Obrázky nevyhovujících robotů viz příloha A.



*Obr. 5.1 Nevyhovující roboty Epson, Automata a Yaskawa*

Pro bližší prozkoumání byla vybrána jedna varianta portálového systému a dvě varianty robotického ramena.

### 5.1.1 Varianta č. 1 – Portálový robot

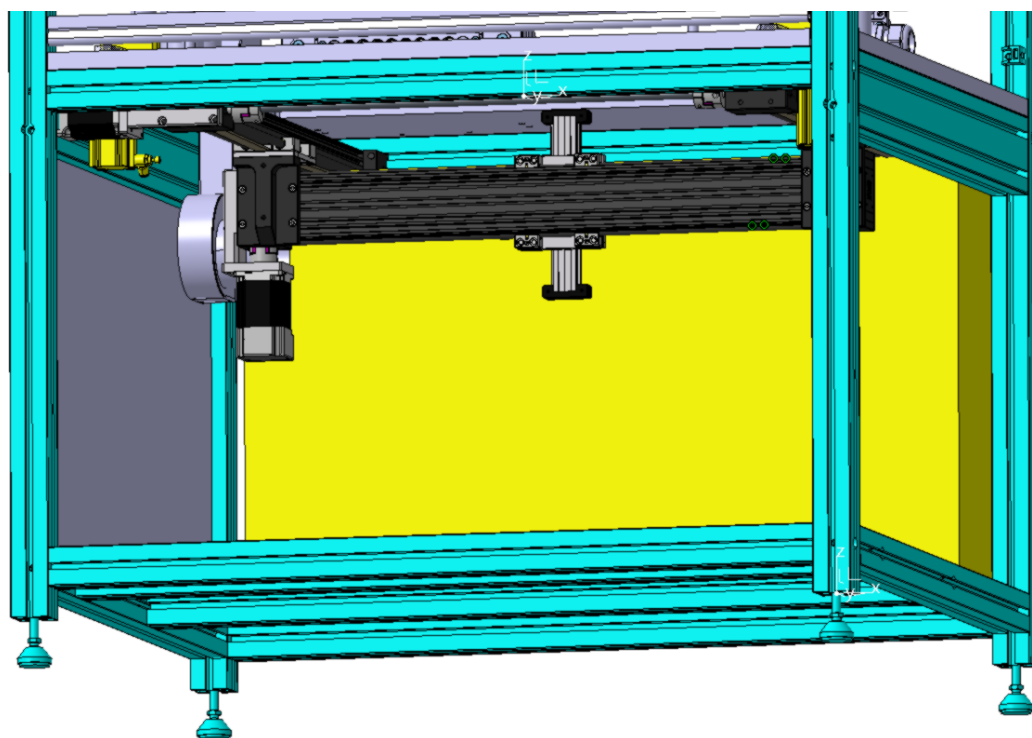
První variantou je kartézský robot od společnosti Igus. Oproti původní variantě má další dvě osy pohybu. Může tedy pokrýt celou plochu otvoru základní desky. Třetí osa Z umožní i pohyb nad desku a přiblížení více k vnitřním částem světlometu (viz příloha B).

Výhody jsou:

- nízké pořizovací náklady,
- tři osy kartézského systému.

Nevýhody jsou:

- náročnější instalace,
- vyšší náklady na zprovoznění,
- absence naklonění a otočení trysky,
- nutná bezpečnostní závora (senzor),
- potřebný velký pracovní prostor pro pohyb robota,
- maximální nosnost 0,5 kg.



Obr. 5.2 Varianta č. 1 – portálový robot

### 5.1.2 Varianta č. 2 – Pětiosý robot

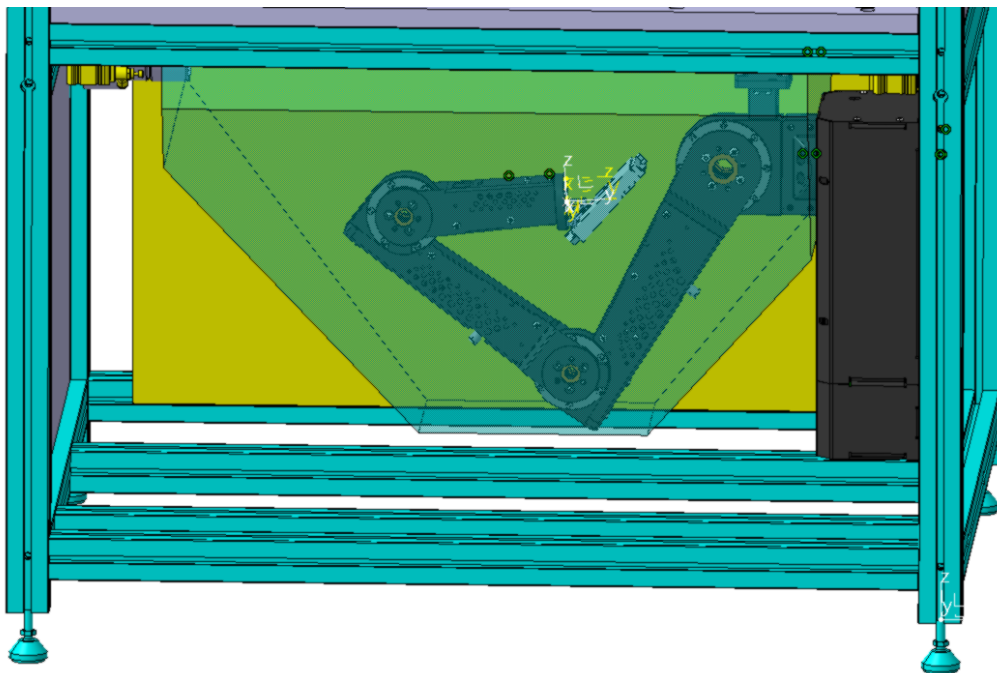
Druhou variantou je pětiosé robotické rameno RoboLink od společnosti Igus. Tento robot se řadí do kategorie nízkonákladových neboli lowcost průmyslových robotů. Pět os dostatečně pokryje potřebný prostor světlometu (viz příloha B).

Výhody jsou:

- 5 os k dostatečnému pokrytí potřebného prostoru včetně rotace,
- nízké pořizovací náklady,
- snadná instalace.

Nevýhody jsou:

- nedostatečně tuhé provedení,
- nutná bezpečnostní závora (senzor),
- nutná kalibrace jednotlivých os po každém nouzovém vypnutí,
- maximální nosnost 0,5 kg.



*Obr. 5.3 Varianta č. 2 – pětiosý robot*

### 5.1.3 Varianta č. 3 – Kolaborativní robot

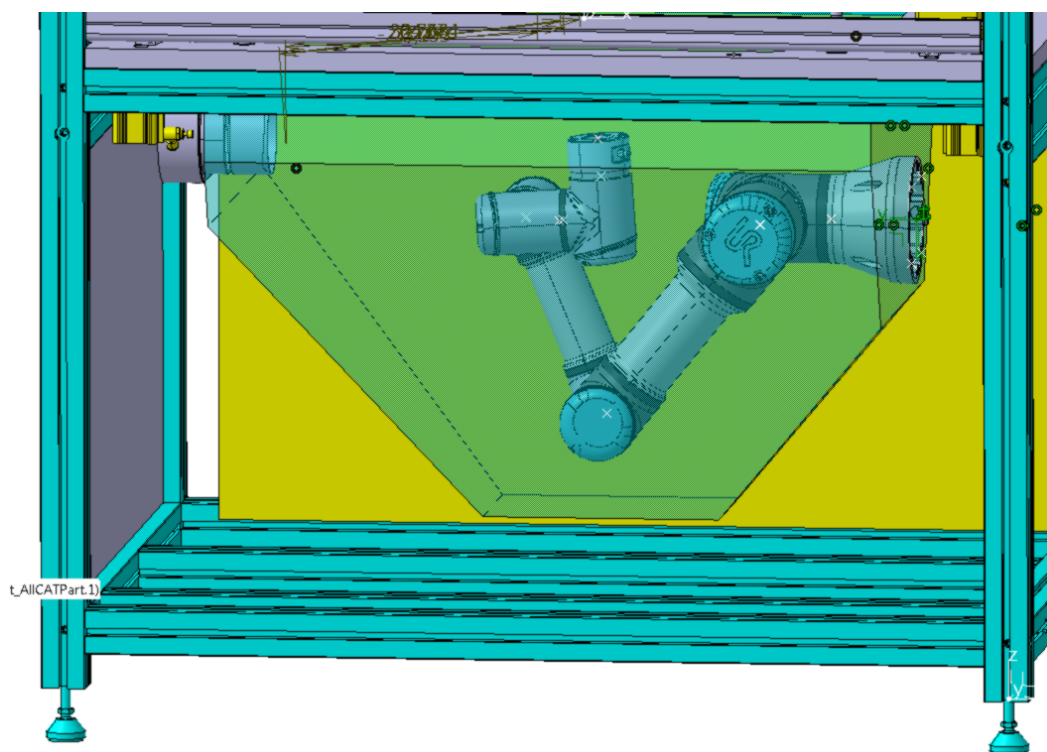
Ve třetí variantě byl použit kolaborativní robot od společnosti Universal robots, typ UR3. Má šest os a vhodný kompaktní rozměr pro potřebný pohyb v daném prostoru. Dosažitelné potřebné polohy viz příloha B.

Výhody jsou:

- snadná instalace a nastavení,
- 6 os k pokrytí potřebného prostoru včetně rotace a naklápění,
- absence bezpečnostních závor (senzorů),
- robot je v zadavatelské společnosti používán a je již schválený,
- maximální nosnost 3 kg.

Nevýhody jsou:

- vysoká pořizovací cena.



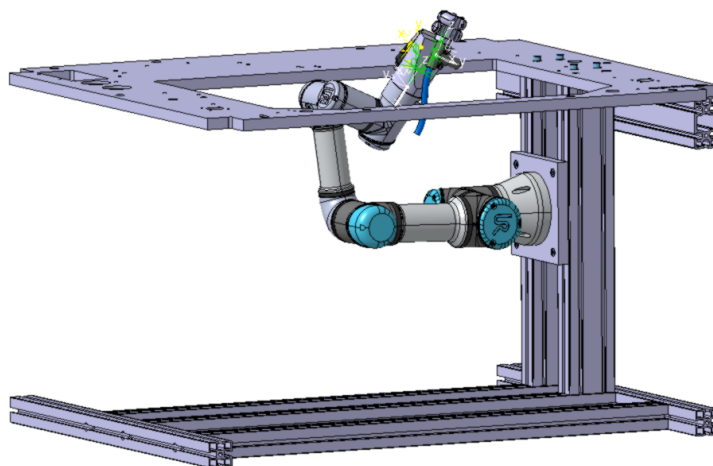
*Obr. 5.4 Varianta č. 3 – kolaborativní robot*

#### 5.1.4 Vyhodnocení

Na pořizovací náklady vychází nejlépe portálový robot, ale dle zkušeností zadavatelské společnosti je následná montáž a seřízení nebo změna programu časově a tím i finančně náročnější. Oproti zbylým variantám má menší pohyblivost, čím se sníží i účinnost trysky při vyšší vzdálenosti jak 200 mm. Druhá varianta by i s 5 osami pohyblivostí a s poloviční cenou vyhověla. Nevýhodou však bylo její ne příliš kvalitní zpracování. Další nevýhodou bylo, že při nouzovém vypnutí se robot postupně sesune a při restartování je potřeba jednu osu po druhé postupně umístit do výchozí polohy. Bylo by tak možné riziko zaseknutí robota a nutnost následného rozebrání stroje při jeho opravě. I přes své vysoké pořizovací náklady je nejvýhodnější kolaborativní robot UR3. Jeho instalace ani změna programu není náročná. Z velké konkurence robotických ramen má ideální rozměry. Díky šesti osám je možné trysku umístit do potřebné pozice a zachovat vhodnou vzdálenost od čištěné plochy. Jeho nosnost je 6x vyšší než u předchozích variant. Výhodou je i kolaborativní funkce, jelikož není nutné stroj osazovat bezpečnostními senzory a dveřmi.

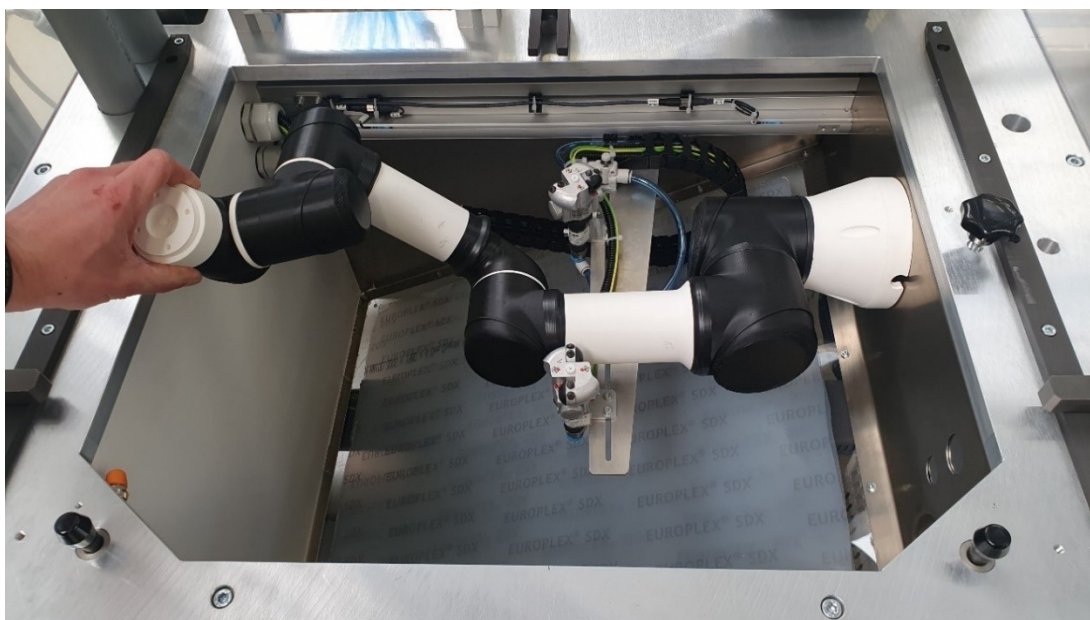
## 5.2 Upevnění robota

Pro upevnění robota jsou do standardního rámu přidány další Alutec profily a deska z hliníkové slitiny. Jedná se o dva horizontální profily 45 x 45 mm a dva vertikální profily 45 x 90 mm. Deska pro upevnění robota je tloušťky 20 mm a je doplněna upevňovacími kolíky a závitovými děrami.



*Obr. 5.5 Upevnění robota v rámu*

Pomocí 3D tisku byl vyroben model robota UR3 a následně byla ověřena jeho pohyblivost a kompaktnost v původním rámu.



*Obr. 5.6 Ověření pohyblivosti pomocí 3D modelu robota*

Dle pokynů výrobce je montáž robota provedena pomocí čtyř šroubů M6 s utahovacím momentem 9 Nm a dvěma čepy Ø 5 mm pro nastavení polohy. Konstrukce pro upevnění robota musí unést alespoň pětinasobek jeho hmotnosti a nesmí výrazně vibrovat.



Hmotnost kolaborativního robota UR3 je 11 kg a hmotnost nástroje přibližně 1 kg. Upevnění robota musí unést alespoň 56 kg. Pro simulaci je potřebný výpočet síly  $F$ .

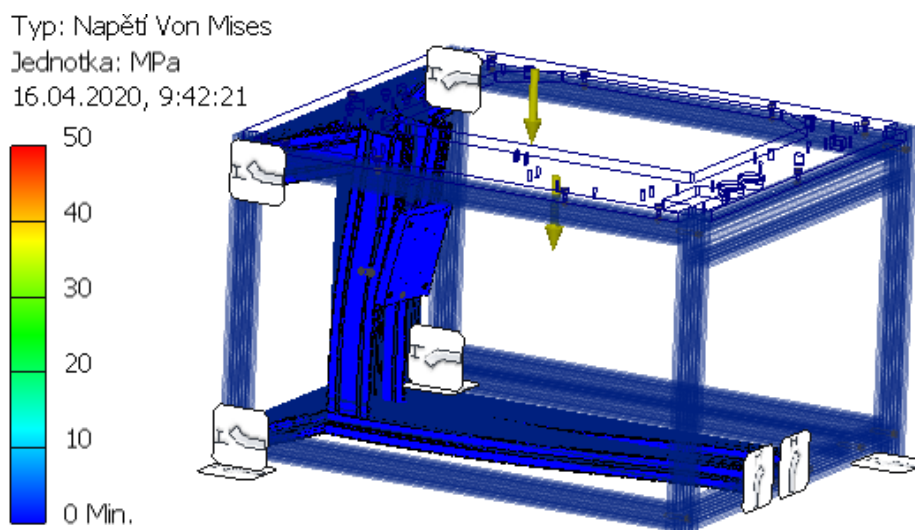
$$F = m \cdot g \text{ [N]} \quad (1)$$

kde

$m$  [kg] je hmotnost robota  
 $g$  [m/s<sup>2</sup>] je gravitační zrychlení

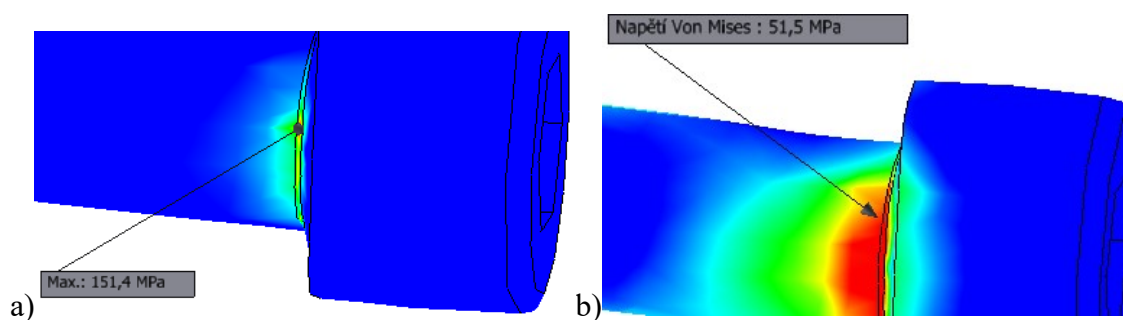
$$F = 56 \cdot 9,81 = 549,2 \text{ N}$$

Pevnostní analýza celého stroje by byla pro výpočet příliš náročná. Z toho důvodu byl rám zjednodušen. Zatížení robota bylo nahrazeno silou 549,2 N upevněného na plochu desky a vzdálené do bodu těžiště robota.



Obr. 5.7 Pevnostní analýza upevnění robota

Výsledky kontrolního výpočtu dokazují dostatečnou pevnost konstrukce. Maximální zjištěné napětí bylo zjištěné u hlavy šroubu v desce. Toto maximální napětí dosahuje hodnoty 151 MPa. Jedná se však pouze o bodové napětí. Reálné napětí se pohybuje okolo 51 MPa. Tato hodnota není pro spojovací materiál z oceli nebo korozivzdorné oceli nijak kritická. Posunutí bylo v řádech desetin milimetrů viz příloha C.

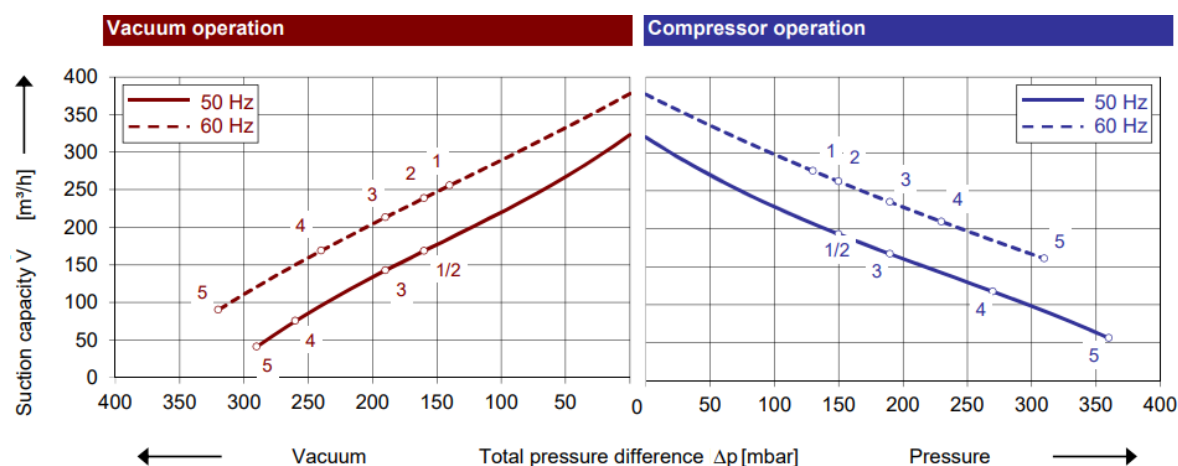


Obr. 5.8 Detail pevnostní analýzy upevnění robota: a) maximální napětí, b) reálné napětí

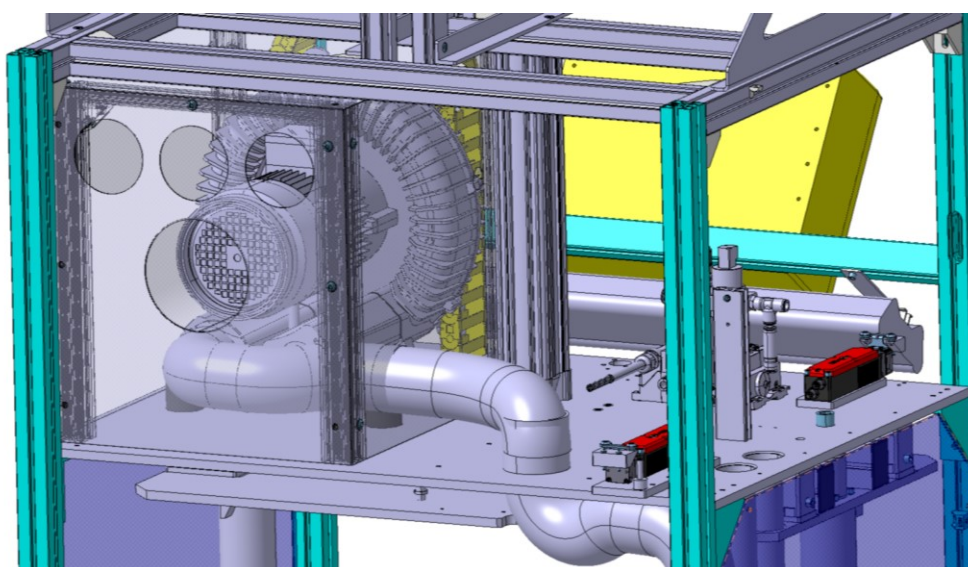
### 5.3 Odsávání

Pro odsávání pracovního prostoru pro danou aplikaci byly vývěvy a axiální ventilátory určeny jako nevhodné. Radiální ventilátory by především svými menšími rozměry vyhovovali, ale svými parametry pro odsávání nestačí. Jako nejvhodnější bylo zvoleno dmychadlo s bočním kanálkem, které se často využívá jako centrální vysavač. Po konzultaci s prodejcem a zadavatelskou společností bylo opět použito dmychadlo řady G-H1 a typu 2BH1600 od společnosti Gardner Denver. Dmychadlo splňuje minimální průtok vzduchu  $310 \text{ m}^3/\text{h}$  a je odzkoušené z původní varianty.

Pro lepší stabilitu stroje a kratší vzdálenost dmychadla od odsávaného místa je vhodné umístění ve spodní části čistícího stroje. Z důvodu nutného prostoru pro manipulační zařízení to však není možné. Výhodou umístění v horní části je menší zahřívání dmychadla a lepší odvod vzduchu z výfuku.



Obr. 5.9 Graf závislosti průtoku vzduchu na změně tlaku pro dmychadlo 2BH1600 [18]



Obr. 5.10 Umístění dmychadla

## 5.4 Filtrace

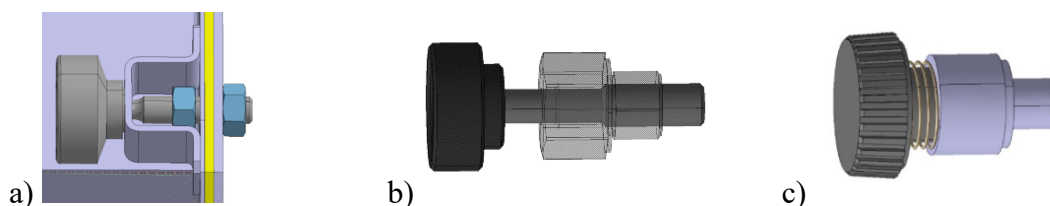
Pro filtraci byl zvolený stávající filtr FP VOVS TETI 230. Jedná se o filtr, který byl použit i na původním čistícím stroji, je tedy ověřený a vedený jako skladový díl. Tento filtr má díky patronové konstrukci mnohem větší plochu než filtry kazetové. Výhodou je delší interval výměny a čištění, ale nevýhodou je větší rozměr.

Je vhodné, aby byl filtr umístěn v blízkosti odsávaného prostoru. V původní variantě byl filtr v horní části stroje. Tím mohlo docházet k zachytávání nečistot v dlouhé části potrubí. Nepříznivému jevu lze zabránit, je-li filtr ve spodní části stroje, čímž je blíže k odsávanému prostoru. Pro filtr bylo nutné navrhnout nový filtrační box a upevnění, aby byla snadnější jeho demontáž a čištění. Otevírání obalu filtru musí být čelně, aby šel filtr vyjmout ve směru své osy. Pro lepší proudění vzduchu je vytvořen válcový tvar, ve kterém je filtr přišroubován pomocí jedné centrální matice. Šikmá přepážka je zachována pro usměrnění vstupního proudu vzduchu. Je vhodné použít větší počet spojovacích prvků (max. 8), aby se docílilo vhodného utěsnění víka. Mezi víkem a filtračním boxem se nachází silikonové těsnění. V boxu při provozu vzniká podtlak, který víko ještě více přitiskne k tomuto těsnění. Na požadavek údržby musí být uzavírání filtračního boxu snadné a rychle, aby nedocházelo k velkým prodlevám při čištění strojů. Na základě těchto požadavků byly vytvořeny následující tři varianty.

### 5.4.1 Varianta č. 1 – Víko filtračního boxu se šrouby

První variantu lze realizovat pomocí šroubového spojení, kterým se docílí dostatečného upevnění víka. Nevýhodou je zdoluhavá manipulace, zejména u opětovném nasazení víka a zašroubování šroubů. Z těchto důvodů byly přidány centrovací trny pro zjednodušení nasazení a neztratné šrouby pro zjednodušení manipulaci. Zjednodušené utahování šroubů prsty je docíleno větší kruhovou hlavou s drážkami. Pro neztratné šrouby lze využít několik konstrukčních řešení.

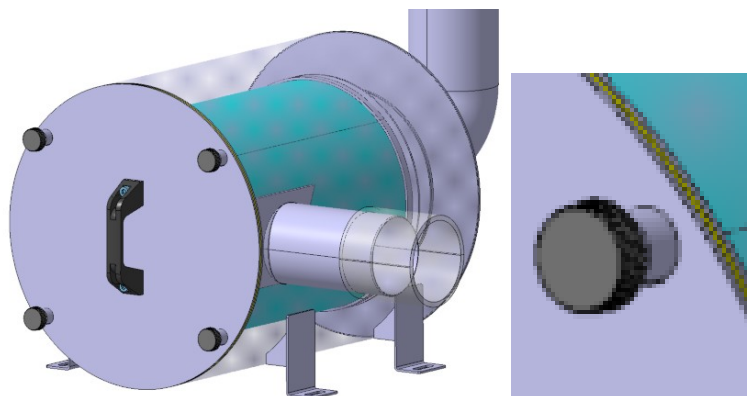
V první lze použít matici našroubovanou na šroubu a plechu ve tvaru U přivařeným nebo přinýtovaným k víku. Druhý řešením může být neztratný šroub ze tří dílů: hlava, šroub s odlišným průměrem závitu a krku, matice s vnějším závitem pro našroubování do víka. Posledním zvoleným řešením je obdobné druhému, pouze s rozdílem přivaření matice k víku a využití pružiny pro odtlačení šroubu.



Obr. 5.11 Řešení nezvratných šroubů: a) varianta 1., b) varianta 2., c) varianta 3.



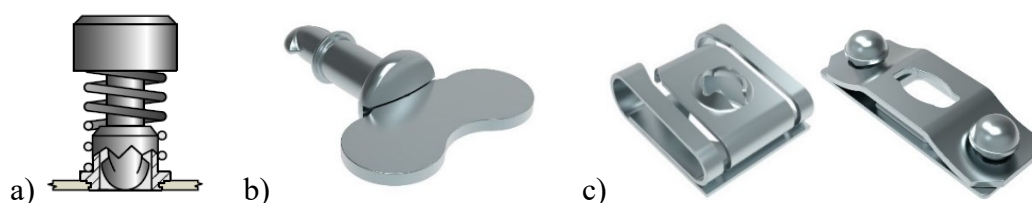
Z těchto řešení byla zvolena třetí s navařenou maticí. Pro tuto aplikaci byly použity čtyři šrouby velikosti M8. Tyto nezvratné šrouby je nutné vyrobit, jelikož se nejedná o standardně nakupovaný díl.



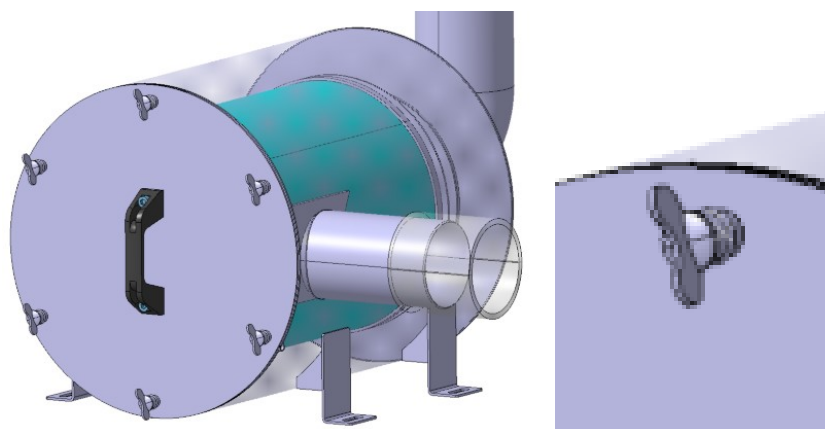
Obr. 5.12 Varianta č. 1 – víko filtračního boxu se šrouby

#### 5.4.2 Varianta č. 2 – Víko filtračního boxu s otočnými šrouby

Druhou variantou mohou být neztracené otočné šrouby. Ty není třeba zdlouhavě šroubovat, ale stačí jen nastrčit a otočit o 90°. Tento neztracený otočný šroub se skládá ze křídlové hlavy, dřívku se šípovým zakončením a matice lisované do plechu. Tyto šrouby se prodávají v největší velikosti M6. Z tohoto důvodu a malého předpětí plíšků pro zafixování polohy je použito 6 šroubů. Dále je zde opět vhodné použít středící kolíky pro nasazení.



Obr. 5.13 a) neztracený otočný šroub, b) křídlová hlava šroubu, c) plíšky pro zafixování [51]



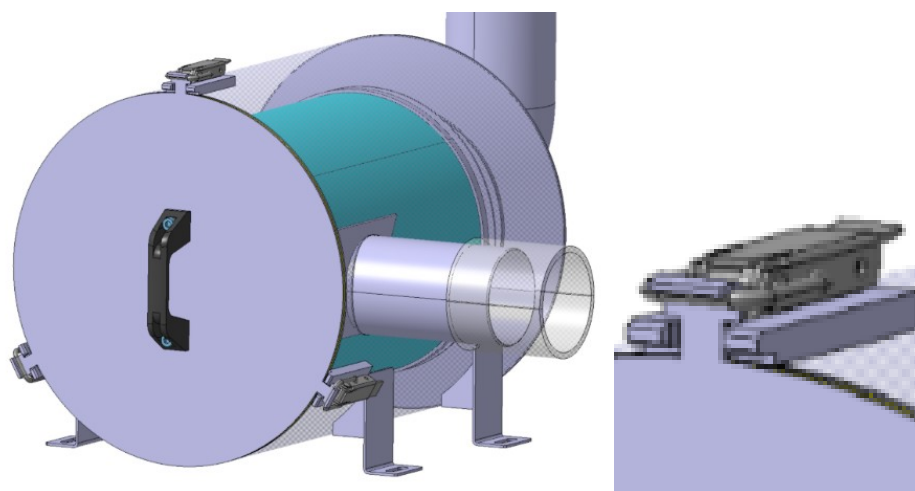
Obr. 5.14 Varianta č. 2 – víko filtračního boxu s otočnými šrouby

### 5.4.3 Varianta č. 3 – Víko filtračního boxu se stahovacími sponami

Pro třetí variantu jsou použity tři spony. Pro jejich upevnění je nutné přivaření pásovin na vnější plášť filtru. Pásoviny v sobě obsahují závitové díry pro připevnění spon a výřezy pro ustavení víka. Stahovací spony lze nastavovat, jelikož mají oválné díry pro přišroubování. Protikus ke sponám je vytvořený ohnutím tří segmentů samotného víka.



Obr. 5.15 Stahovací spona [51]



Obr. 5.16 Varianta č. 3 – víko filtračního boxu se stahujícími sponami

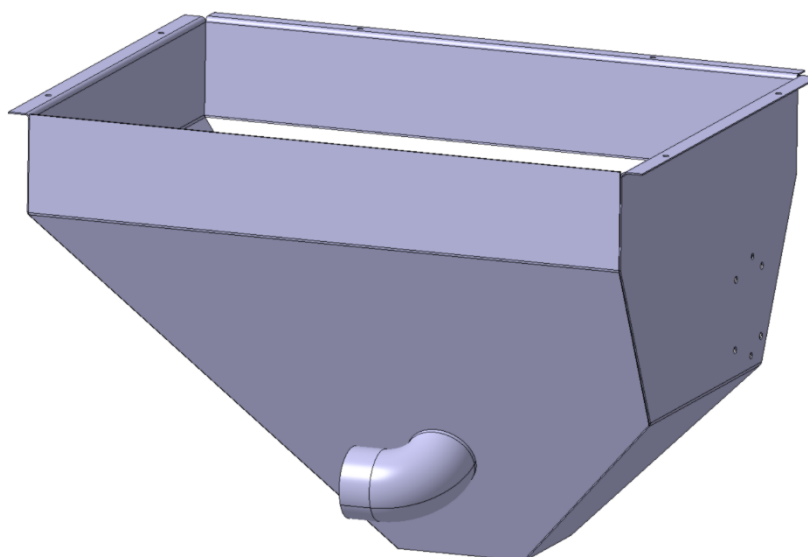
### 5.4.4 Vyhodnocení

První varianta nebyla zvolena z důvodu vyráběných dílů a zdlouhavé manipulace se šrouby při sundávání i nasazování víka. Varianta druhá nedosahovala velkého přitlaku a bylo nutné použít větší počet prvků. Z těchto tří variant byla zvolena varianta poslední se stahujícími sponami, které jsou nakupovaným dílem. Toto řešení umožňuje nejrychlejší a nejsnazší manipulaci. Spony vytváří dostatečný přitlak víka, který je možné i regulovat.

## 5.5 Prachová vana

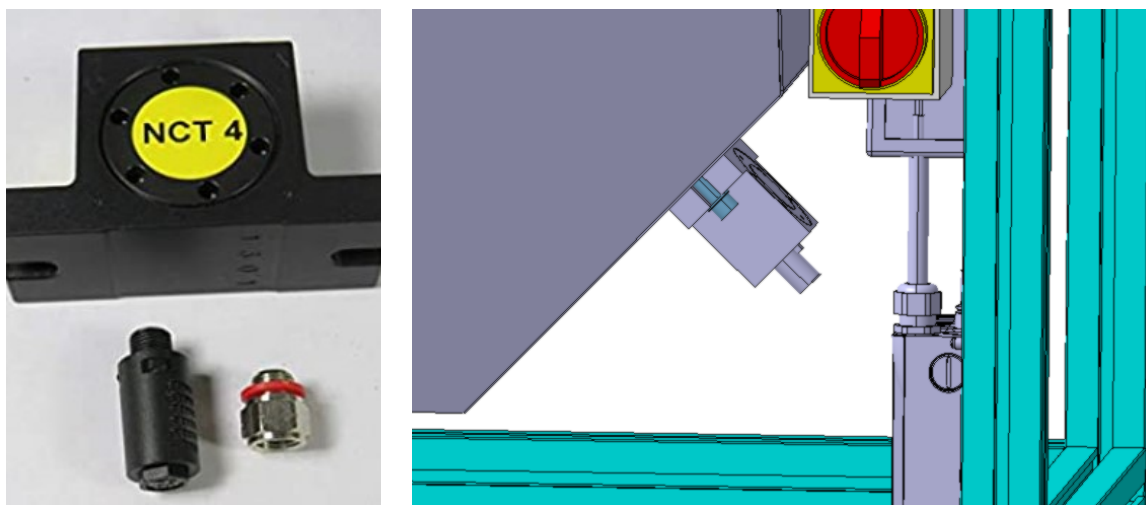
Na stěnách prachové vany by neměl ulpívat prach a nečistoty. Měla by být vyspádovaná do jednoho místa a umožnit její částečné otevření. Je nutné zachovat úhel sklonu stěn menší než  $45^\circ$ , aby se zamezilo zachytávání nečistot na stěnách.

Její velikost musí umožňovat potřebný pohyb robotického ramena. Dále je potřeba vyhnout se filtračnímu boxu a jiných prvků stroje.



Obr. 5.17 Prachová vana

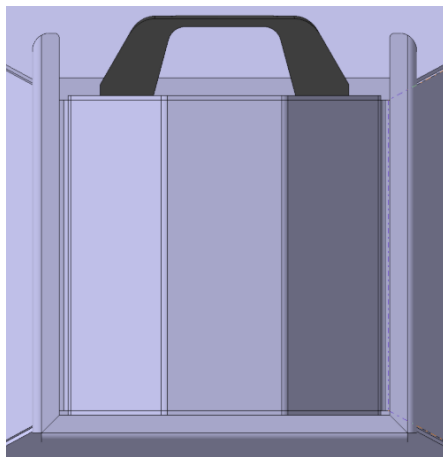
V případě stálého zachytávání nečistot je možné využít pneumatického vibračního zařízení NCT 4. Toto vibrační zařízení se může zapínat současně s čistící a odsávací funkcí nebo pouze na chvíli při údržbě a čištění stroje. Toto zařízení je umístěné na pravé stěně prachové vany v blízkosti rozvodu stlačeného vzduchu.



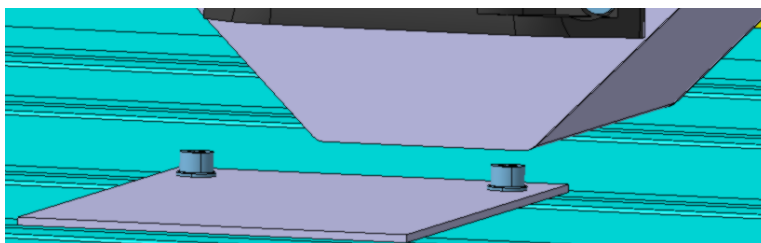
Obr. 5.18 Pneumatické vibrační zařízení NCT 4 a jeho umístění

## 5.6 Prachový box

Požadavkem bylo dostat se částečně do prachové vany kvůli čištění a možnosti vyjmutí spadlých dílů či komponentů do vany. S prachovým boxem pod vanou se musí jednoduše a rychle manipulovat. Bylo využito konstrukční řešení v podobě zásuvky, kdy je box vysouvám nebo nasouván do naváděcích lišt. Pod prachovým boxem je přišroubovaný plech pro odkládání a jeho navádění. Prachový box by měl být dostatečně utěsněn, aby nedocházelo k nežádoucímu zvuku při odsávání. Následně jsou popsány tři možné varianty.



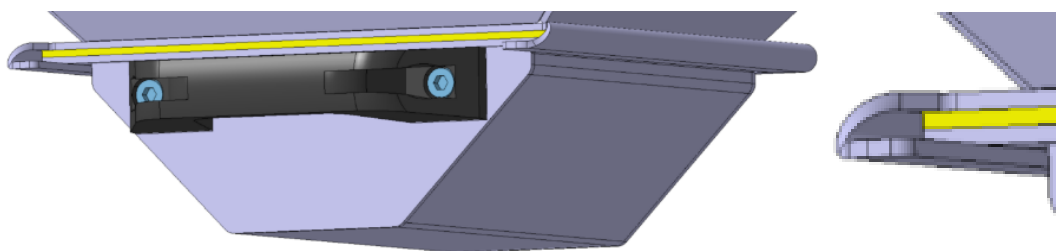
*Obr. 5.19 Lišty prachového boxu*



*Obr. 5.20 Odkládací plech pro prachový box*

### 5.6.1 Varianta č. 1 – Upevnění prachového boxu nasunutím

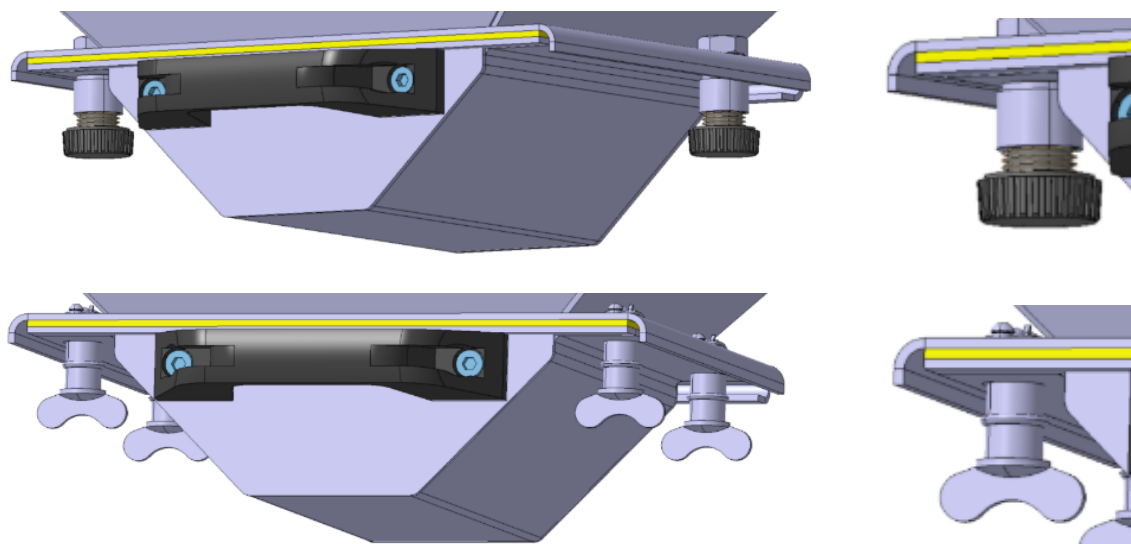
První variantou je pouhé nasunutí do drážky, která je na začátku mírně rozšířená a následně zúžená. Tím se docílí alespoň částečnému těsnění mezi plechy a těsněním.



*Obr. 5.21 Varianta č. 1 – upevnění prachového boxu*

### 5.6.2 Varianta č. 2 – Upevnění prachového boxu šrouby

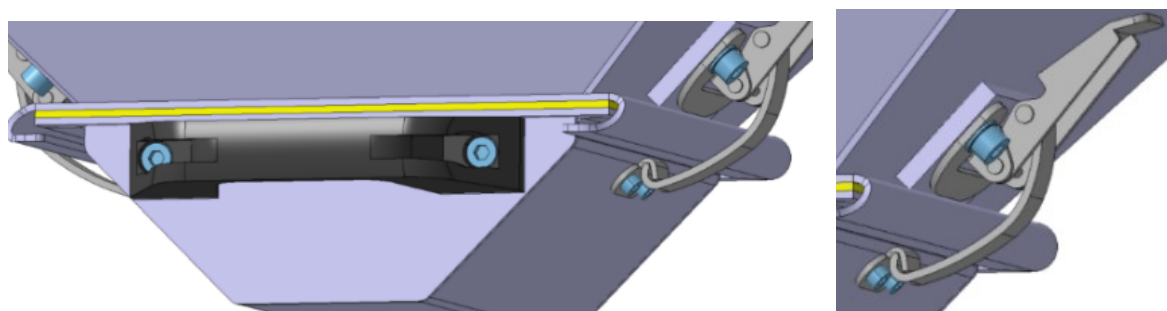
V druhé variantě lze použít stejné neztrátné šrouby obdobně jako u víka filtračního boxu. Prachový box v této variantě má krajní hrany vedené pouze z boku a zadní hranu má podepřenou v liště i zespodu. Lze použít dva šrouby se závitem M8 nebo čtyři s otočným šroubem M6.



Obr. 5.22 Varianta č. 2 – upevnění prachového boxu

### 5.6.3 Varianta č. 3 – Upevnění prachového boxu sponami

Poslední varianta je řešená jiným typem stahovacích spon než u víka filtračního boxu, kvůli přesahu přes lišty. Spona je našroubovaná do přivařené kostky se závity. Opět jsou zde oválné díry, pro vhodné nastavení. Protikusy spony jsou přišroubované skrz stěnu prachového boxu nebo je lze i přinýtovat.



Obr. 5.23 Varianta č. 3 – upevnění prachového boxu

### 5.6.4 Vyhodnocení

První varianta nedosahuje dostatečného utěsnění a je riziko shrnutí a znehodnocení silikonového těsnění. U druhé varianty je zdoluhavé šroubování a centrování šroubů do děr. Obdobně jako u upevnění víka, vychází nejlépe použití stahovacích spon.

## 5.7 Tryska

Tryska je jedním z klíčových prvků čistícího stroje. Je u ní důležitý plošný efekt s nejvyšší účinností při čištění. Pro čistící stroj byly zvažovány tři následující trysky odlišných typů. Na závěr podkapitoly trysek je popsána podstata a využití ionizace při čištění.

### 5.7.1 Varianta č. 1 – Statická tryska

Nejlevnější a nejjednodušší variantou je použití klasické statické trysky s větším počtem výstupních děr.

Výhody jsou:

- nízká cena,
- nízká hmotnost,
- kompaktní rozměr.

Nevýhody jsou:

- absence dynamického účinku,
- absence plošného efektu,
- nízká účinnost.

### 5.7.2 Varianta č. 2 – Nízkotlaká rotační vzduchová tryska

Jedná se o rotační trysku od společnosti IMM, typ PLN. Tato tryska je poháněná dmychadlem, nikoli stlačeným vzduchem z kompresoru. Tato konstrukce mnohonásobně ušetří spotřebu stlačeného vzduchu a s ní spojené náklady. Pro tuto trysku je možné použít přefiltrovaný vzduch z dmyhadla určeného pro odsávání prachové vany. Došlo by tím k využití odpadního média stroje. Znázornění nízkotlaké rotační trysky, lze vidět v kapitole 2.5 na obrázku 2.7.

Výhody jsou:

- nízká hmotnost,
- dynamický účinek,
- využití vzduchu z dmyhadla,
- výrazně nižší provozní náklady.

Nevýhody jsou:

- nízký tlak trysky,
- nízká účinnost,
- nekompaktní rozměr.

### 5.7.3 Varianta č. 3 – Vysokotlaká rotační vzduchová tryska

Rotační tryska od společnosti IMM, typu CRN54 byla již použita v původní variantě. Jedná se o trysku s patentovaným systémem nezávislých otáček na tlaku vzduchu. Lze u nich měnit úhel i průměr trysek. Druhou variantou může být obdobná tryska CRN53, která má menší rotační hlavici.

Výhody jsou:

- vyšší účinnost,
- plošný efekt,
- dynamický účinek,

Nevýhody jsou:

- vyšší hmotnost,
- vyšší cena.



*Obr. 5.24 Tryska CRN 54*

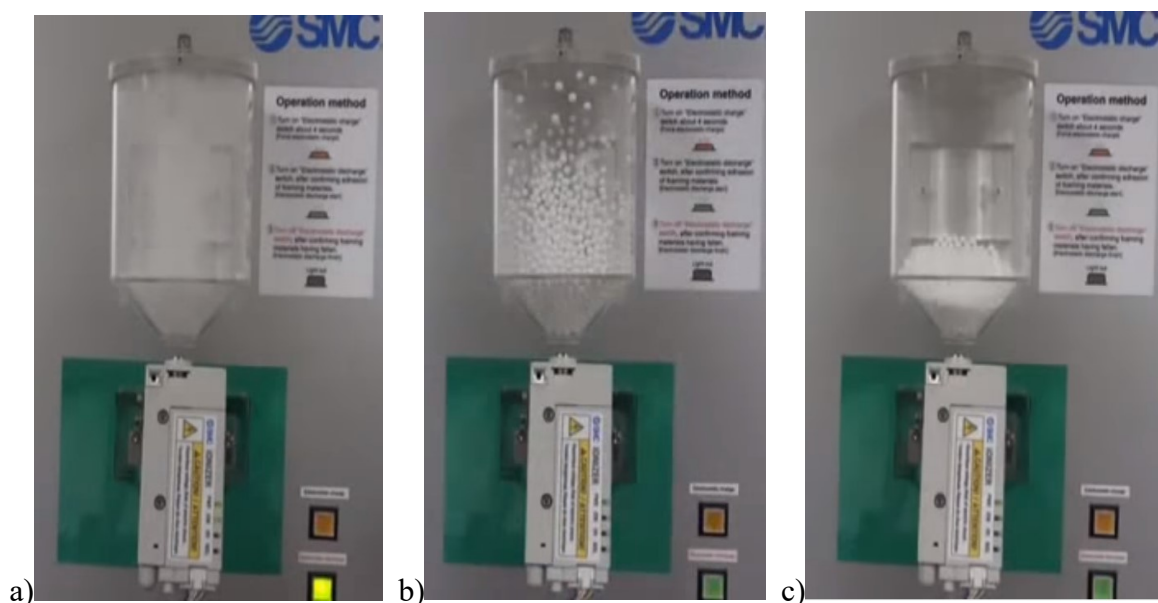
### 5.7.4 Vyhodnocení

Z důvodu malé účinnosti a absence plošného efektu není možné použít klasické statické trysky ani rotační trysky na nízkotlaký vzduch, které jsou určeny spíše pro sušení. Při použití by došlo k finanční úspoře, ale na úkor efektivity čištění. Nejvhodnější je stávající rotační tryska, která je již odzkoušená a vedena jako skladový díl.

### 5.7.5 Ionizace

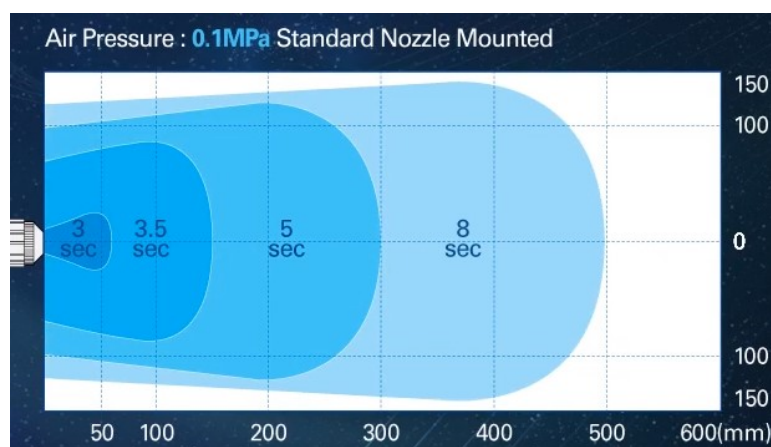
Ionizace působí kladně na proces čištění, kdy neutralizuje statickou elektřinu. Ta může být neviditelnou příčinou pro viditelné problémy ve výrobě. Díky statické elektřině může docházet k ulpívání prachu a nečistot na stěnách výrobku. Dokonce i po stržení nečistot proudem vzduchu může prach opět dosednout na jiné části výrobku.

Důkaz o vlivu ionizace lze vidět na experimentu na obrázku níže. První snímek znázorňuje víření polystyrénových kuliček v plastovém tubusu při vhánění vzduchu bez ionizace. Po vypnutí se část kuliček přilepí na stěny viz druhý snímek. U posledního snímku lze vidět, že po vhánění ionizovaného vzduchu všechny kuličky spadnou.



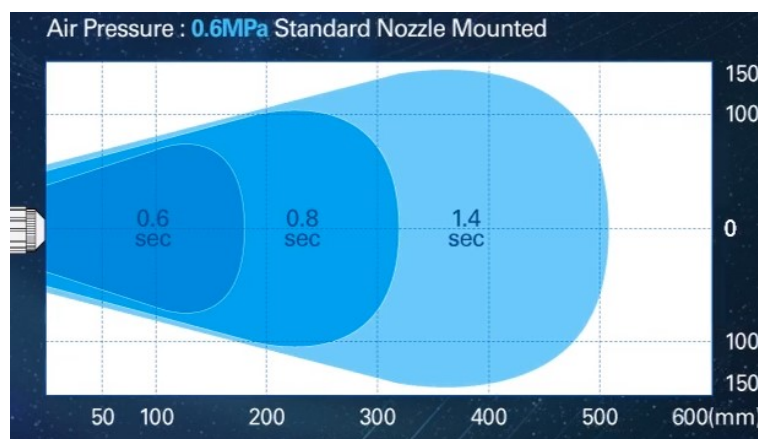
Obr. 5.25 Test ionizace: a) zapnutý, b) vypnutý bez ionizace, c) vypnutý s ionizací [52]

Pro ionizaci je vhodné umístit ionizátor nejbližší k trysce, aby nedocházelo ke ztrátě účinku. Vzdálenost a zvyšující se tlak v trysce pozitivně ovlivňují šíření ionizace.



Obr. 5.26 Vliv vzdálenosti na ionizaci při tlaku 0,1 MPa [53]





Obr. 5.27 Vliv vzdálenosti na ionizaci při tlaku 0,6 MPa [53]

## 5.8 Kamera

Další přidanou hodnotou navrhovaného čistícího stroje může být využití kamery pro optickou zkoušku. Tuto kameru lze umístit na konec robotického ramena k trysce. Po očištění rameno několika pohyby zkontroluje za pomoci jedné kamery funkci svícení světlometu. Kontrola probíhá bezprostředně po čištění a vypnutí trysky. Tím dojde pouze k nepatrnému časovému nárustu. Objektiv kamery není třeba preventivně čistit nebo čekat až po odsání prachu. V reálné situaci nedochází k výraznému zvíření nečistot ani ulpívání prachu na objektivu. Při velkém znečištění lze optickou zkoušku také provést. Kamera porovnává znatelný rozdíl mezi vypnutým a zapnutým světlem.



Obr. 5.28 Kamera pro optickou zkoušku

## 6 Návrh upevnění trysky a kamery

Při návrhu upevnění trysky a kamery je třeba vzít k úvahu určité požadavky a dané parametry robota. Příruba nástroje robota je vybavena čtyřmi závitovými otvory M6, které slouží k upevnění nástroje k robotu. Šrouby jsou utaženy momentem 9 Nm. Pro nastavení polohy je k dispozici otvor  $\varnothing 6$  mm. Pro připojení hadic nebo kabelů je nutný prostor pod tryskou minimálně 60 mm a pod kamerou 50 mm. Rotační tryska nesmí zasahovat do zorného pole kamery. Je možné upevnění trysky pod úhlem do  $10^\circ$ , aby se dalo využít i otočné osy na konci robotického ramene. Maximální hmotnost celého efektoru nesmí přesáhnout nosnost robotického ramena, kterou lze určit podle těžiště nástroje a grafu. Při posunutí těžiště nástroje o 130 mm od hlavy ramena unese náklad 3 kg. (viz příloha D).

Každou z variant je nutné následně otestovat metodou MKP na její pevnost. Je testována nejvíce kritická poloha, kdy součást vydrží nejmenší zatížení. V okrajových podmínkách jsou jako pevné vazby zvolené plochy pod šrouby upevňující nástroj k robotu. Zatížení součásti je způsobeno hmotností komponentů. Výpočty pomocí programu Inventor 2018 jsou pouze lineárního charakteru. Hodnoty nad mezí úměrnosti materiálu nelze brát za adekvátní. Při zařazení součinitele bezpečnosti a dynamického efektu, který nelze do výpočtu zahrnout, je hraniční hodnota 10 % z meze pevnosti materiálu. Maximální dovolené posunutí součásti při zatížení kamerou a tryskou je 2 mm. Výsledné posunutí při statickém zatížení v analýzách nesmí být více než 0,2 mm.

Do výpočtů je třeba zahrnout i modální analýzu, která se zabývá vlastními kmity dílu. Ty se nesmí v rozmezí 20 % shodovat s kmity budícími. Budící kmity zde vyvolává rotační tryska, která se otáčí  $750 \text{ min}^{-1}$ .

$$f_b = \frac{n}{60} [\text{Hz}] \quad (2)$$

kde

$f_b$  [Hz] je budící frekvence  
 $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky za minutu

$$f_b = \frac{750}{60} = 12,5 \text{ Hz}$$

$$f_{b+20\%} = f_b \cdot k [\text{Hz}] \quad (3)$$

kde

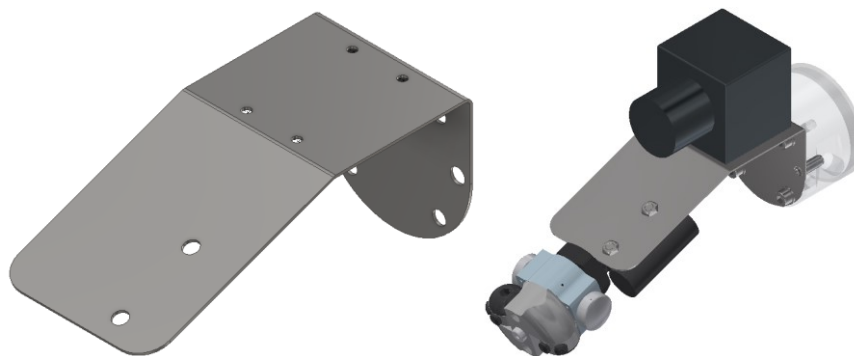
$k$  [1] je koeficient bezpečné frekvence

$$f_{b+20\%} = 12,5 \cdot 1,2 = 15 \text{ Hz}$$

Vypočtené vlastní frekvence musí být více jak 15 Hz.

## 6.1 Varianta č. 1 – Součást z plechu

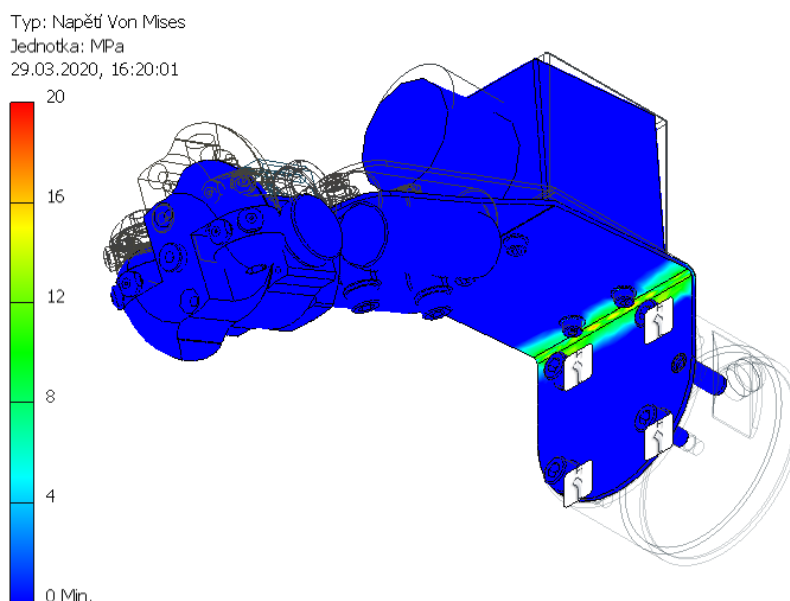
Pro výrobu držáku je možné použití korozivzdorného plechu. Tato výroba není technologicky neobvyklá. Plech je nařezán laserem dle 3D dat a následně ohýbán. Poloha trysky je o 20° vychýlena od směru kamery, aby ji nepřekážela ve snímání. Je použit korozivzdorný plech tloušťky 1,5 mm. Nejdříve byl použit plech o tloušťce 1 mm. Ten byl o 44 g lehčí, ale dle výsledků v příloze E poddimenzován.



Obr. 6.1 Varianta č. 1 – součást z plechu

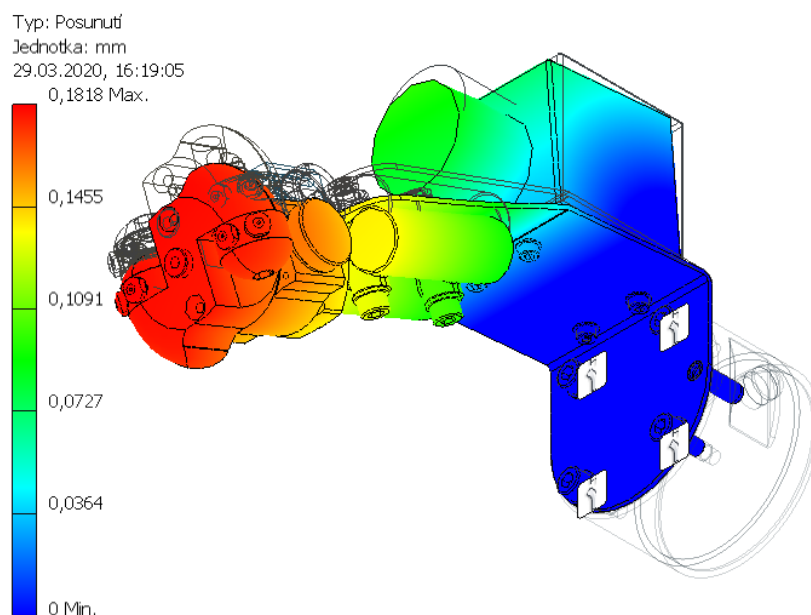
První možnost plechového držáku je těžká 131 g a včetně ostatních komponentů 846 g. Výška nástroje je 180 mm, šířka 124 mm a těžiště 76 mm.

Mez pevnosti korozivzdorné oceli X5CrNi 18-9 je 540 MPa (viz příloha F). Na obrázku lze vidět, že v nejvíce namáhaném místě je napětí 16 MPa. Tato hodnota je méně než poloviční oproti stanovené maximální hodnotě 54 MPa. Součásti pak nehrozí její trvalá deformace při zatížení a použití.



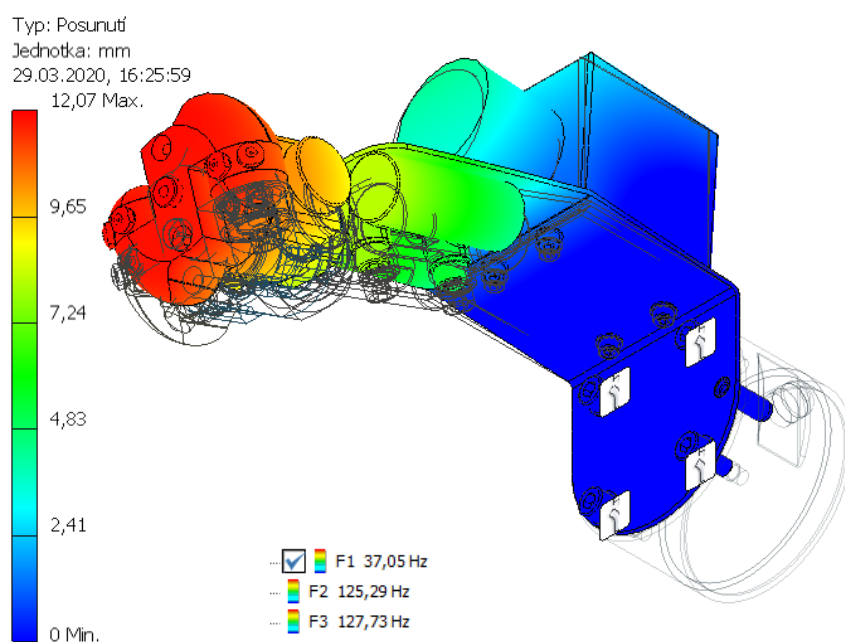
Obr. 6.2 Pevnostní zkouška – napětí v součásti z plechu

Druhý obrázek ukazuje posunutí při zatížení, které vykazuje hodnotu 0,18 mm, čímž splňuje stanovenou maximální výchylku 0,2 mm.



Obr. 6.3 Pevnostní zkouška – posunutí součásti z plechu

První vlastní frekvence 37 Hz je vyšší jak hraniční budící frekvence 15 Hz.

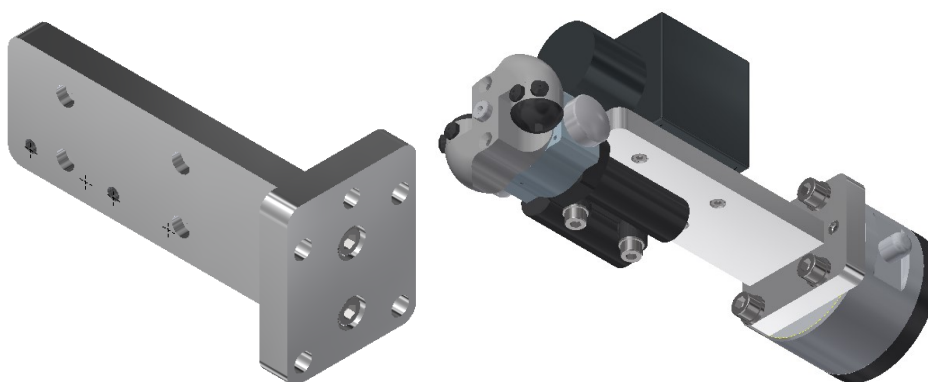


Obr. 6.4 Modální zkouška – první vlastní frekvence součásti z plechu

## 6.2 Varianta č. 2 – Součást z hliníkové slitiny

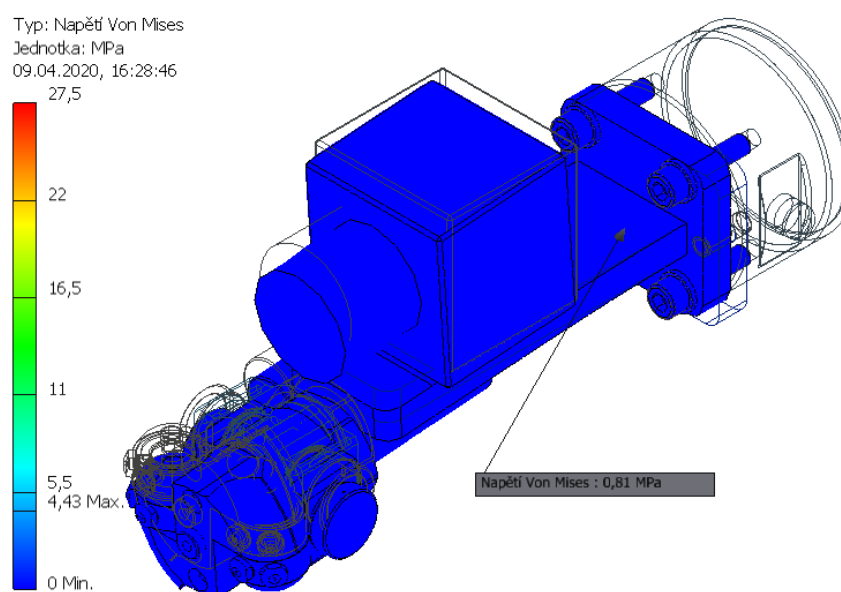
Hliníkové přípravky se standartně používají pro upevnění nástrojů k robotickým ramenům. Při výrobě z jednoho kusu by byla nákladná výroba a zbytečné plýtvání materiálem. Z toho důvodu je výhodnější dva hliníkové díly k sobě sešroubovat. Do hliníkové části je potřeba pro upevnění trysky našroubovat dva šrouby velikosti M5. Dle velikosti šroubů je potřebná závitová díra 10 mm. Z toho vyplývá i tloušťka hliníkové desky. Na hliníkové součásti není využito odlehčení, jelikož by následná technologická náročnost mohla součást prodražit na úkor minimálního snížení hmotnosti.

Hliníkový držák má hmotnost 189 g a včetně ostatních komponentů 938 g. Výška nástroje je 175 mm, šířka 74 mm a těžiště 81 mm.

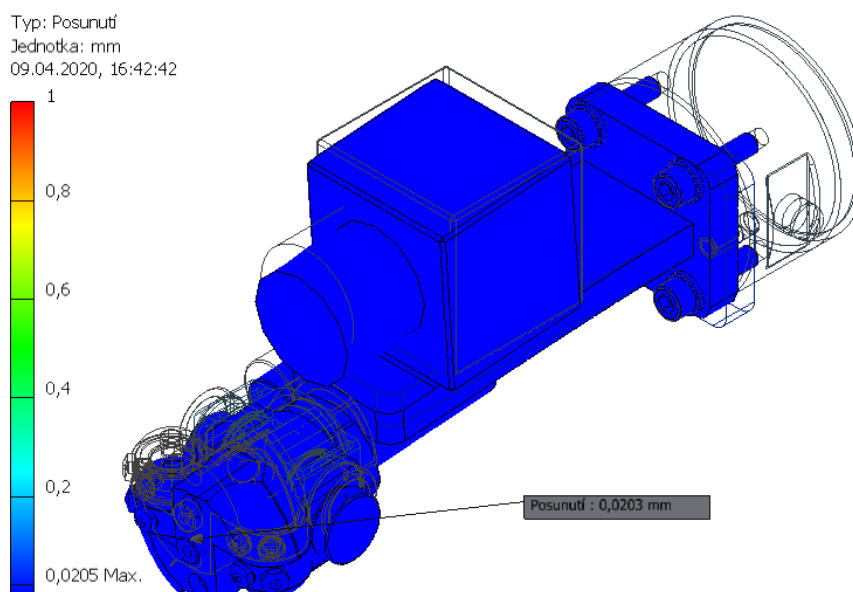


Obr. 6.5 Varianta č. 2 – součást z hliníkové slitiny

Mez pevnosti hliníkové slitiny EN AW 5083 H111 je 275 MPa (viz příloha F). Výsledky napětí a posunutí z pevnostní zkoušky hliníkové součásti vykazují mnohonásobně nižší hodnoty než maximální stanovené.

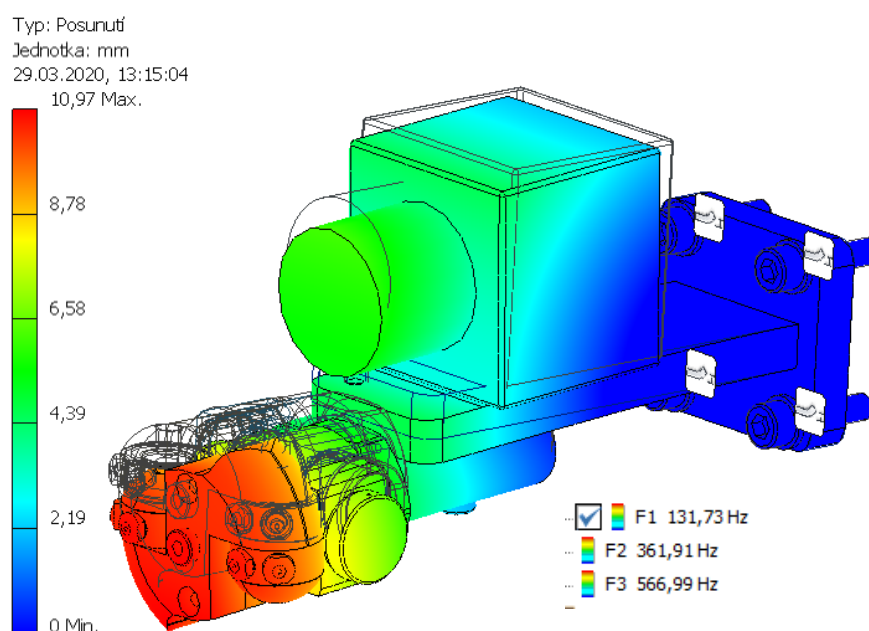


Obr. 6.6 Pevnostní zkouška – napětí v součásti z hliníkové slitiny



Obr. 6.7 Pevnostní zkouška – posunutí součásti z hliníkové slitiny

Modální zkouška stanovila první vlastní frekvenci téměř 10x vyšší než budící.

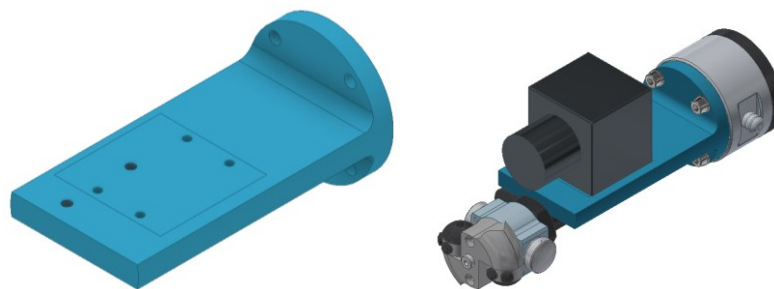


Obr. 6.8 Modální zkouška – první vlastní frekvence součásti z hliníkové slitiny

### 6.3 Varianta č. 3 – Součást z plastu

Pro držák trysky a kamery lze využít i plastový materiál, který je lehčí než hliník. Součást lze vytisknout pomocí 3D tiskárny. Konkrétně se může jednat o materiál PET-G nebo ABS. Tyto plasty jsou z možných druhů filamentu dostatečně odolné.

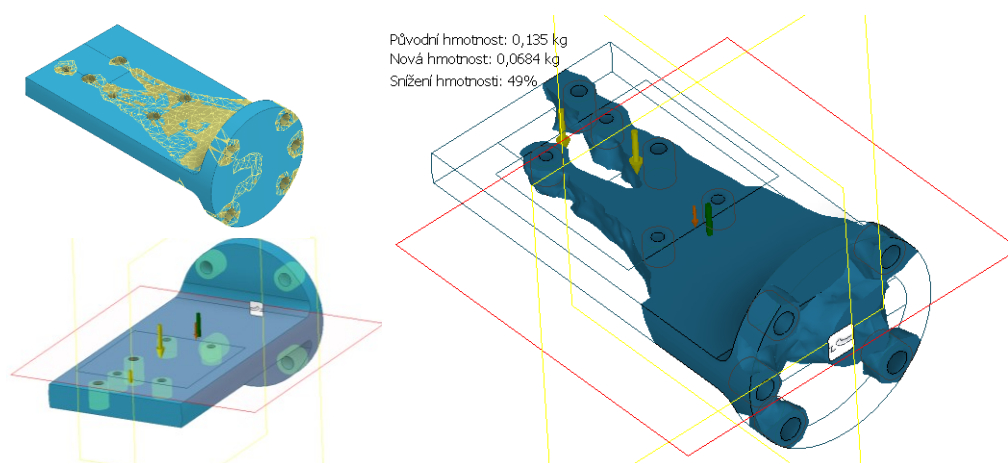
Klasická konstrukce plastového dílu může vypadat jak na obrázku 6.9. Držák má hmotnost 136 g a včetně ostatních komponentů 880 g.



Obr. 6.9 Varianta č. 3 – neupravená součást z plastu

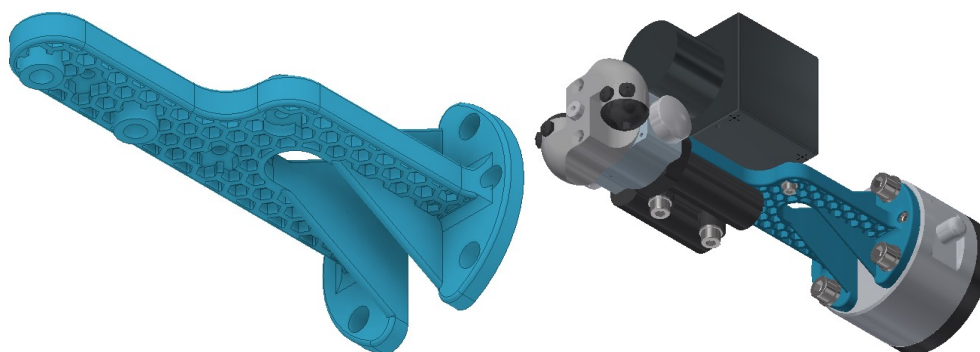
Mez pevnosti PET-G je 53 MPa. Specifikace plastu viz příloha F. Tato součást splňuje veškeré požadavky viz příloha G.

Při 3D tisku lze s výhodou využít topologická optimalizace neboli generátor tvaru. Generátor dokáže naznačit, kde lze u dílu ubrat materiál, aniž by ztratil původní pevnost a odstranil potřebné prvky. Z navrženého tvaru lze odvodit geometrii nového lehčího držáku. Pro optimalizovaný díl byl použit materiál ABS s lepšími vlastnostmi.



Obr. 6.10 Topologická optimalizace neupravené součásti z plastu

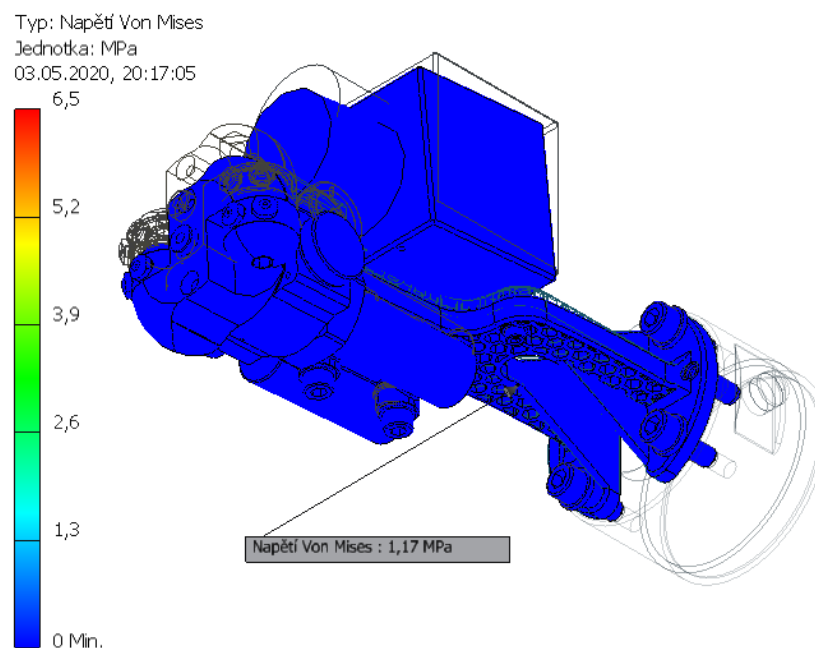
Po optimalizaci, ztenčení stěn a zachování funkční geometrie má nový plastový držák hmotnost 29 g. Hmotnostní úspora je 78,7 % oproti klasickému tvaru. Držák včetně ostatních komponentů váží 772 g. Výška je 175 mm, šířka 74 mm a těžiště 81 mm.



Obr. 6.11 Varianta č. 3 – upravená součást z plastu

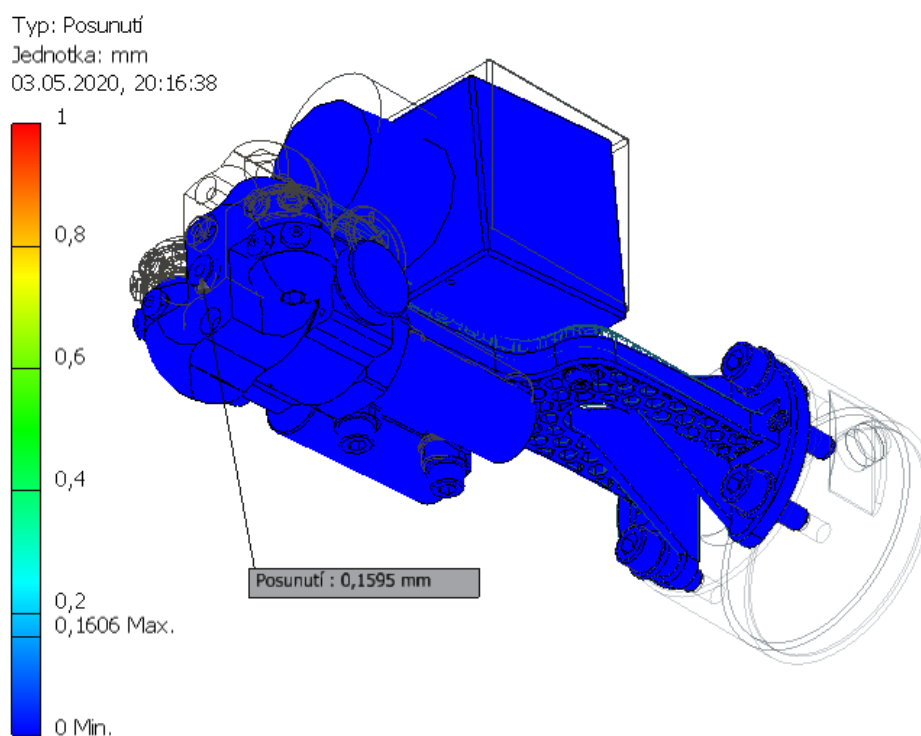


Při zatížení vzniká napětí 1,2 MPa, které je stále pod úrovní 10 % meze pevnosti 65 MPa materiálu ABS (viz příloha F).



Obr. 6.12 Pevnostní zkouška – napětí v upravené součásti z plastu

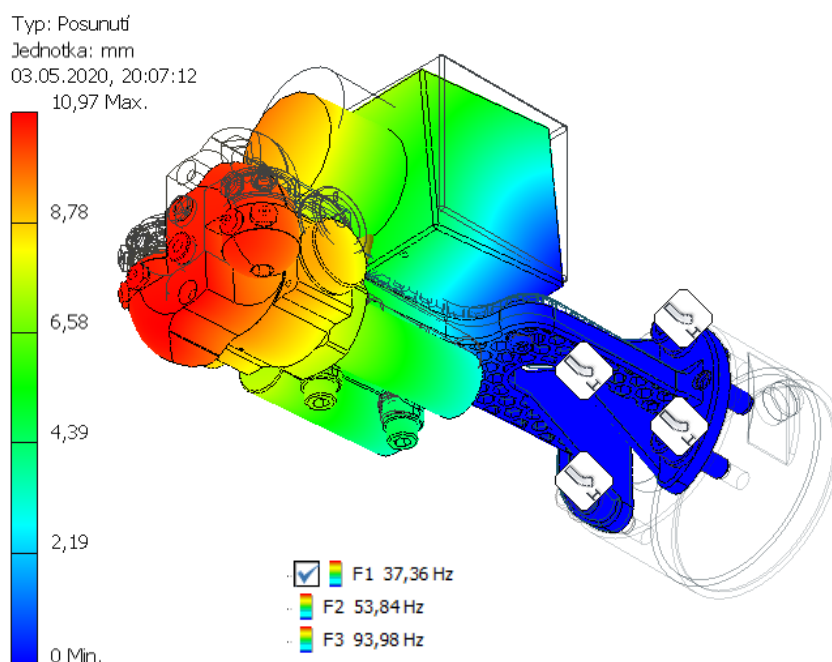
Posunutí nástroje je 0,16 mm. Je tím docíleno nižšího posunutí než u plechové varianty.



Obr. 6.13 Pevnostní zkouška – posunutí v upravené součásti z plastu



První vlastní frekvence je s hodnotou 37,4 Hz v dostatečné vzdálenosti od 15 Hz.



Obr. 6.14 Modální zkouška – první vlastní frekvence upravené součásti z plastu

## 6.4 Výhodnocení variant

Součást z hliníkové slitiny je nejpevnější, avšak s výrobní cenou přibližně 2 000 Kč nejdražší. Výroba plechové součásti vychází přibližně 750 Kč, ale nemá takovou pevnost. Nejlevnější na výrobu je plastový díl vytištěný na 3D tiskárně. Výrobní cena je přibližně 500 Kč. Tato součást je i nejlehčí čímž nejméně zatěžuje robotické rameno. Pro upevnění trysky i kamery je její pevnost dostačující.

Díl je vhodné tisknout ve vodorovné poloze, aby byly tištěné vrstvy správně orientované a zamezovaly prasknutí. Součást byla pro ukázkou vytištěná s viditelnou vnitřní texturou. Při reálné výrobě je vhodné vymodelovat díl plný a při tisku pomocí funkce infill zvolit hexagonovou výplň.



Obr. 6.15 Vytištěná součást z plastu

## 7 Posouzení účinnosti

Dle zadání práce bylo potřeba vytvořit vhodnou metodiku pro posouzení účinnosti a vhodnosti nově navrženého čistícího stroje. Dosud nebyly pro určování jasné dané a sjednocené vstupní okrajové podmínky. Vyhodnocení bylo pouze subjektivním pohledem.

### 7.1 Postup experimentu

Je třeba si stanovit vstupní okrajové podmínky, následný čistící proces a vyhodnocení experimentu.

#### Vstupní okrajové podmínky

V případě porovnávání účinnosti čištění světlometů je nutné nejdříve určit jejich totožný výchozí stav. Pro správné porovnání je nutné posuzovat dva stejné světlometry nachystané k lepení skla. K docílení stejné míry znečištění je využita prachová komora, do které jsou vloženy oba světlometry po stejnou dobu a zaneseny prachem se stejnou intenzitou.

#### Čistící proces

Samotný proces čištění musí být vykonán za stejných podmínek: tryska, tlak, čas, umístění a orientace světlometu.

#### Vyhodnocení

Při výrazném rozdílu znečištění posuzovaných světlometů, lze provést pouze vizuální porovnání. V případě nepatrného rozdílu by se muselo postupovat jinak. Porovnání hmotnosti nečisto nelze provést, protože rozdíl je tak malý, že jej není možné zaznamenat. Je nutné nahradit složitou geometrii světlometu jednodušší geometrií například plastovými boxy s méně členitými stěnami. Boxy je po zaprášení a očištění možné pečlivě vytřít tkaninou a následně vizuálně porovnat znečištění jednotlivých kusů čistících tkanin. Druhou variantou je vypláchnutí jednotlivých boxů vodou, kterou lze následně přefiltrovat přes malou plochu filtru a opět vizuálně porovnat. V poslední variantě je možné porovnat škálu odstínů zbarvení filtru pro určení stupně znečištění.

V ideálním případě je vhodné posuzovat alespoň tři vzorky porovnávaných párů, aby se zamezilo nesprávnému závěru.

## 7.2 Experiment

V rámci práce byl proveden experiment porovnávající čištění světlometu za použití stávajícího lineárního pojezdu a robotického ramena.

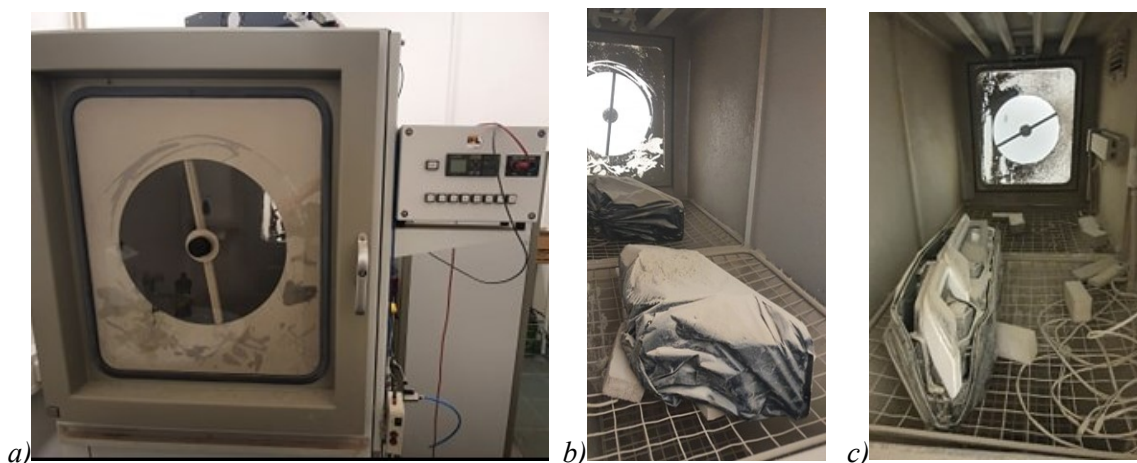
### 7.2.1 Příprava

Pro experiment byly zapůjčeny čtyři světlomety, dva kompletně osazené komponenty a nachystané na lepení skla a dva osazené pouze z části. Všechny tyto světla byly z vnější strany pouzdra zakryté, aby se s nimi po zaprášení dalo lépe manipulovat a nebyla ovlivněna zbylá část experimentu.



Obr. 7.1 Připravený světlomet

K zaprášení byla využita prachová komora PTL s prachem Arizona 2FINE dle specifikací DIN 40 050 (jemnost prachu neodpovídá reálné situaci v provozu). Rozdíl mezi opravdovou a simulovanou situací není podstatný, jelikož porovnáváme účinnost dvou variant. Porovnání reálné účinnosti stroje by bylo prakticky nemožné z důvodu malého obsahu nečistot. V komoře byl na oba totožné vzorky zároveň rozvířen prach po dobu 5 s a následně si sedal v řádech několika hodin. Po úplném ustálení prachu bylo světlomety možné vyjmout. První sada světlometů bez všech komponentů byla do prachové komory vložena svícením do strany a druhá sada plných světel svícením vzhůru.



Obr. 7.2 a) prachová komora, b) uložení svícením do boku, c) uložení svícením vzhůru



*Obr. 7.3 První zaprášená sada pouzder světlometů*



*Obr. 7.4 Druhá zaprášená sada světlometů včetně komponentů*

Ze snímků pořízených bezprostředně po vytažení z komory, vyplývá, že druhá varianta umístění svícení vzhůru způsobí rovnoměrnější pokrytí prachem. Dále je patrné, že i po dodržení stejných podmínek není možné identického znečištění. Při manipulaci se vzorky prach částečně odpadá, čemuž nelze zamezit. Fotografie vzorků bezprostředně před čištěním jsou v příloze H.

### 7.2.2 Čištění

V procesu čištění je potřeba porovnat pohyb původního lineárního pohybu a pohybu robotického ramene. Otestování stávající varianty stroje není možné, jelikož je využíván v provozu ve výrobě. Je proto nutné pohyb nasimulovat ručně. Pro druhé čištění není zakoupen robot UR3 a simulace bude probíhat obdobně. V reálném provozu se používá pro každý typ světlometu daný přípravek na jeho zafixování do stroje. V experimentu je zafixování pouzdra svícením dolů vyřešeno pouze provizorně.



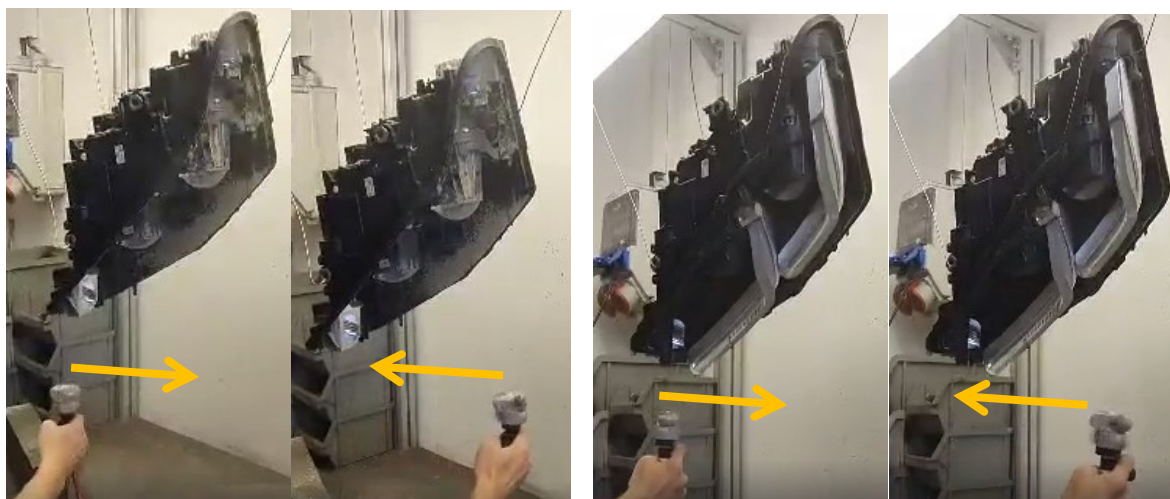
*Obr. 7.5 Zafixování světlometu na pracovišti*



K čištění je použita zvolená tryska CRN54 připojená hadicí k rozvodu stlačeného vzduchu o tlaku 5 bar. Čištění probíhá 10 sekund, poté je tryska vypnuta a odstavena. Stejné čištění probíhá pro oba typy dodaných světlometů.

### 1) Původní lineární pohyb

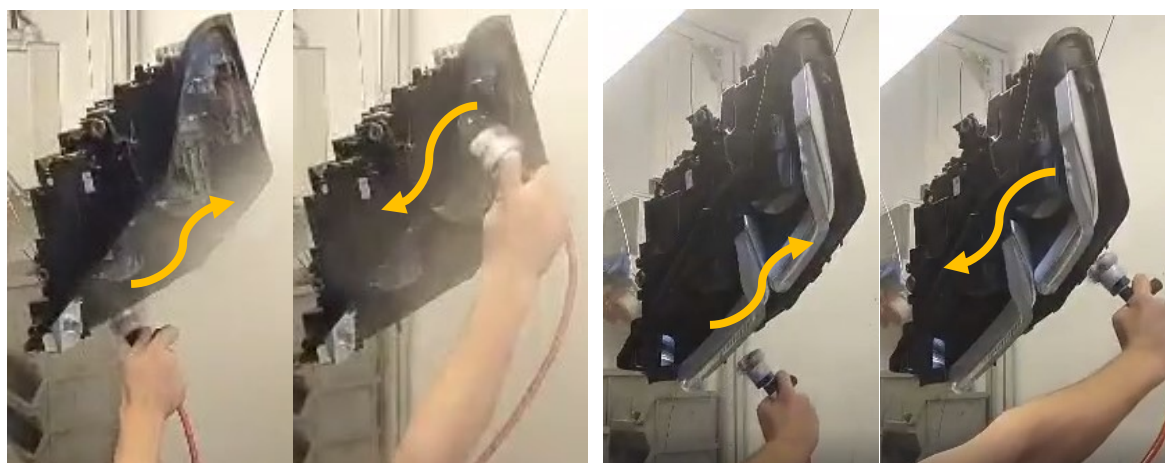
Pro první simulaci je tryska neustále umístěná přibližně 80 mm od pomyslné základní desky a vykonává pouze pohyb doprava a doleva.



*Obr. 7.6 Průběh čištění pro první variantu*

### 2) Navrhovaný volný pohyb

Při simulaci robotického ramena se pohybem ruky, která drží trysku, kopíruje tvar světlometu v přibližné vzdálenosti 40 mm.



*Obr. 7.7 Průběh čištění pro druhou variantu*

### 7.2.3 Vyhodnocení

Na prvních porovnávaných pouzdech světlometu je markantní rozdíl mezi čištěním s lineárním (obrázek a) a volným pohybem robotického ramena (obrázek b). Jedna tryska při lineárním směru nepokryje celou plochu. To je patrné ve spodní části první fotografie. Další nečistoty jsou vidět ve vzdálenějších místech světlometu, převážně v pravé části. Tím se prokazuje znatelně nižší čistící efekt při větší vzdálenosti trysky od čištěné plochy. Při použití druhé varianty je pouzdro světlometu téměř bez nečistot.



Obr. 7.8 a) očištění pouzdra první variantou, b) očištění pouzdra druhou variantou

U druhé dvojice světlometů, které jsou osazené veškerými komponenty, je menší rozdíl než u prvního porovnání. Je to způsobené zkrácením čistící vzdálenosti při zakrytování. Větší počet nečistot se vyskytuje ve spodní části a pod zakrytováním.



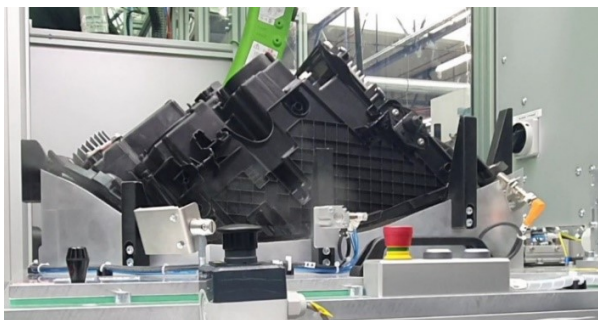


*Obr. 7.9 a) očištění světlometu první variantou, b) očištění světlometu druhou variantou*

Pouhým vizuálním posouzením lze vidět, že použití robotického ramene je výrazně účinnější než původní varianta. Především díky konstantní malé vzdálenosti trysky od čistící plochy. U navrhované varianty není potřeba k pokrytí celé plochy více jak jedné trysky, ani dalších úprav. Jelikož je rozdíl výrazný, není potřeba dalších vyhodnocovacích metod.

Pro důkladnější porovnání by bylo nutné odstavit původní stroj z výroby a vyzkoušet čištění ve stávajícím režimu. Dále by bylo možné vyzkoušet volný pohyb robotického ramena na světlometu upevněném v přípravku, aby bylo simulováno co nejpřesnější. Tuto možnost však z provozních důvodů nebylo možné uskutečnit.

Pro porovnání byl použit odstavený čistící stoj jiné konstrukce, ve kterém je použita jedna rotační tryska s jedním lineárním pohybem. Světlo není upevněn svícením kolmo na podložku, ale je umístěn, tak aby byla co nejmenší vzdálenost trysky od čištěné plochy.



*Obr. 7.9 Očištění světlometu ve stroji jiné konstrukce*

Výsledky čištění jsou téměř srovnatelné s čištěním pomocí robota. Malý rozdíl je pouze v krajních polohách, a to vlivem pouze jednoho lineárního pohybu přes střed světlometu.



*Obr. 7.9. Očištění ve stroji jiné konstrukce: a) pouzdra, b) světlometu*



## Závěr

Diplomová práce se v úvodní části zabývala automatizací, zvolenými prvky čistící vzduchové techniky a průmyslovými roboty. Následně byl se zadavatelskou společností specifikován a sepsán seznam požadavků s požadavkovým listem pro daný čistící stroj.

Z možných manipulačních zařízení, které vyhovovaly požadavkům, byly vybrány tři varianty. Kolaborativní robot UR3 byl oproti portálovému a nízkonákladovému robotu nejvýhodnější. Z požadavků výrobce Universal Robots bylo nutné ověřit upevnění robota, které muselo unést pětinasobek jeho hmotnosti. Pomocí MKP analýzy se potvrdila dostatečná pevnost rámu.

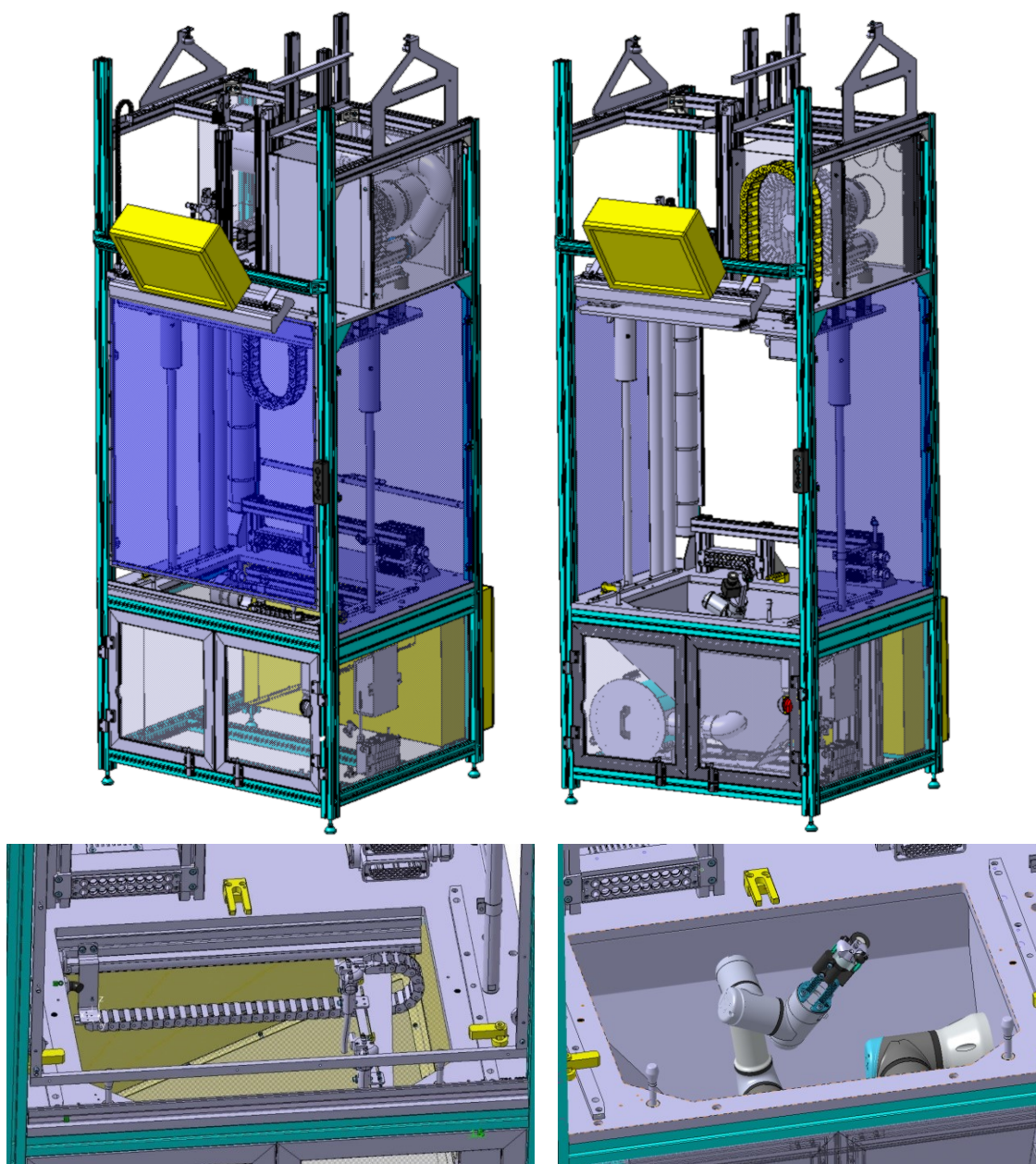
Dále byla v praktické části navržena nová konstrukce prachové vany s větším sklonem stěn a pneumatickým vibračním zařízením pro sklepání prachu. Dle požadavků byl přidán prachový box a ze tří variant upevnění byly vybrány stahovací spony. Filtrační box byl přemístěn do spodní části vedle vany, aby se zkrátila vzdálenost proudění znečištěného vzduchu. Byla navržena nová konstrukce filtračního boxu a upevnění filtru. Pro přichycení víka byly obdobně jako u prachového boxu použity stahovací spony. Se zmíněnými změnami byly nutné další drobné úpravy se zaměřením na využití původních dílů.

K odsávání pracovního prostoru bylo zvoleno dmychadlo 2BH1600 a ponecháno v horní části. Z trysek byla vybrána čistící rotační tryska CRN54 včetně ionizace, která má kladný vliv na proces čištění. Díky vyšší nosnosti robotického ramene lze s výhodou využít testovací kameru pro optickou zkoušku.

Pro upevnění trysky a kamery byly navrženy tři varianty, první z koroziivzdorného plechu, druhá z hliníkové slitiny a poslední z plastu. Všechny součásti byly optimalizovány a následně podrobeny pevnostní a modální analýze pomocí metody konečných prvků. Výsledky splnily požadavek pevnosti a dostatečné vzdálenosti od budící frekvence rotační trysky. Součást z plastu vyrobená na 3D tiskárně byla zvolena za nejvýhodnější. Tato součást nejméně namáhá robotické rameno a je nejlevnější na výrobu.

Poslední část diplomové práce se zabývala vyhodnocením účinnosti čistícího stroje. Byl proveden experiment porovnávající původní a nově navrženou variantu. Dvě vzorkové sady byly nejdříve zaprášeny v prachové komoře a následně očištěny oběma způsoby. Oba vzorky prokazatelně dokazovaly vyšší účinnost čistícího stroje při použití šestiosého robotického ramena. Při srovnání s čistícím strojem jiné konstrukce, který neměl kolmé upevnění světlometu, byl rozdíl účinnosti čištění mezi lineárním pojezdem a robotem nižší.

Při realizaci navrhovaného čistícího stroje vznikají vyšší finanční náklady pořízením kolaborativního robota. Snížení provozních nákladů není možné, jelikož nelze nahradit vysokotlaké čištění nízkotlakým. K úsporám však dochází díky úpravě stávající varianty s využitím původních dílů. Vyšší únosnost ramena umožní instalaci kamery pro optickou zkoušku, kterou není potřeba provádět na dalším stanovišti. Tím se ušetří náklady na další stroj. Díky vyšší pohyblivosti robotického ramene je potřeba pouze jedna tryska a jedna kamera, čím se ušetří další náklady. Změna projektu vyráběného světlometu znamená pouze jednoduchou změnu programu robota. Není nutné další práce konstruktéra pro změnu umístění komponentů a vytváření potřebných přípravků pro nové světlometry. Vlivem absence zavírání ochranných dveří dochází úspoře času, která může být využita pro delší proces čištění nebo optickou zkoušku. Poslední výhodou je jednodušší a rychlejší údržba díky konstrukčním změnám filtračního boxu a prachové vany.



Obr. 8.1. a) Původní stroj, b) navržený stroj

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Tomášovi Haplovi z katedry výrobních strojů a konstruování VŠB – TUO za podněty k řešení práce a odborné rady, které mi poskytoval. Další poděkování patří panu Ing. Martinu Dlexlerovi ze zadavatelské společnosti za pomoc při zpracování a modelování v programu CATIA. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat panu Ing. Františkovi Jáněmu ze zadavatelské společnosti za odborné konzultace, díky kterým byla tato diplomová práce zdárně dokončena.

## Seznam použité literatury

- [1] MAŘÍK, Vladimír. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.
- [2] *Člověk a stroj: metodická příručka*. Praha: Sondy, 2017. ISBN 978-80-86809-21-2.
- [3] KOLARČÍK, Kamil, Jaroslav KAMINSKÝ a Mojmír VRTEK. *Kompresory* [online]. 2012 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/01\\_Stavba-a-provoz-stroju\\_1-3/1\\_IUT/002\\_Kompresory---Kolarcik-a-kol---P3.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/01_Stavba-a-provoz-stroju_1-3/1_IUT/002_Kompresory---Kolarcik-a-kol---P3.pdf)
- [4] KOŘÍNEK, Bohuslav a Ladislav KYSELA. *Čerpadla, dmychadla a ventilátory: dodatek*. Ostrava: Ediční středisko vysoké školy báňské v Ostravě, 1957. Učební texty vysokých škol.
- [5] ERBEN, Milan. *Vakuová technika: Získávání a měření vakua, využití vakuových technologií*. Učební text. Univerzita Pardubice, 2008. Dostupné také z: [https://www.upce.cz/sites/default/binary\\_www\\_old/fcht/koanch/soubory/vakuum-erben.pdf](https://www.upce.cz/sites/default/binary_www_old/fcht/koanch/soubory/vakuum-erben.pdf)
- [6] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy*. Díl II, Řízení pneumatických systémů. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0880-3.
- [7] EN 1822-1. *High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA). Classification, performance testing, marking*. 2009.
- [8] ČSN EN 779. *Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání - Stanovení filtračních parametrů*. 2012.
- [9] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa-Sobotáles cz., 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [10] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5
- [11] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: části spojovací*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [12] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5. upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [13] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*[/i]. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s

- [14] NOVÁKOVÁ, Alena. Průmysl 4.0 nejsou jen průmysloví roboti, automatizace výroby či digitalizace. In: *Vedavyzkum.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://vedavyzkum.cz/inovace/inovace/prumysl-4-0-nejsou-jen-prumyslovi-roboti-automatizace-vyroby-ci-digitalizace>
- [15] HAVLÍČEK, Daniel. Průmyslová revoluce 4.0: Nastane symbióza lidí s roboty? In: *Factoryautomation.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslova-revoluce-4-0-nastane-symbioza-lidi-s-roboty/>
- [16] DUCHOSLAV, Petr. 5 věcí, které je potřeba zvážit při automatizaci průmyslovými roboty. In: *Factoryautomation.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/5-veci-ktere-je-potreba-zvazit-pri-automatizaci-prumyslovymi-roboty/>
- [17] IFR Press Conference 2019. In: *Ifr.com* [online]. Shanghai, 2019 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://ifr.org/downloads/press2018/IFR%20World%20Robotics%20Presentation%20-%2018%20Sept%202019.pdf>
- [18] Průmyslová dmychadla. In: *Vakuum-bohemia.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.vakuum-bohemia.cz/dmychadla>
- [19] Trysky a vzduchové nože. Jak to funguje. In: *Hennlich.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/trysky-vzduchove-noze-jak-to-funguje-8230.html>
- [20] Průmyslové ventilátory. In: *Vakuum-bohemia.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.vakuum-bohemia.cz/prumyslove-ventilatory>
- [21] Olejové a bezolejové průmyslové vývěvy. In: *Vakuum-bohemia.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.vakuum-bohemia.cz/vyvevy>
- [22] Vzduchové trysky. In: *Hennlich.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/trysky-vzduchove-trysky-25.html>
- [23] Air nozzles. In: *Lechler.de* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: [https://shop.lechler.de/is-bin/intershop.static/WFS/LechlerDE-Shop-Site/LechlerDE-Shop/en\\_US/PDF/industrie/englisch/Air\\_Nozzles\\_Lechler\\_EN.pdf](https://shop.lechler.de/is-bin/intershop.static/WFS/LechlerDE-Shop-Site/LechlerDE-Shop/en_US/PDF/industrie/englisch/Air_Nozzles_Lechler_EN.pdf)
- [24] Pneumatické trysky. In: *Mos-pneumatics.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.mos-pneumatics.cz/produkty/pneumaticke-trysky-nejen-pro-ofukovaci-pistole/>
- [25] Pneumatické trysky. In: *Mos-pneumatics.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.mos-pneumatics.cz/produkty/rotacni-razova-tryska-pata-gun/>

- [26] Rotační čistící trysky firmy IMM. In: *Lontech.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.lontech.cz/files/imm/rotacni-trysky-imm-specifikace.pdf>
- [27] Vzduchové filtry. In: *Filtry-filtr.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.filtry-filtr.cz/vzduchove-filtry>
- [28] Roboty a manipulatory. In: *Edumat.cz* [online]. Kutná hora [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: [http://www.edumat.cz/texty/Roboty\\_manipulatory.pdf](http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf)
- [29] ŽÁČEK, Michal. Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy? In: *Factoryautomation.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [30] COLLUNS, Denielle. What is a Cartesian robot? In: *Linearmotiontips.com* [online]. 2018 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/>
- [31] HAVLÍČEK, Daniel. Co jsou to SCARA roboty? In: *Factoryautomation.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-jsou-to-scara-roboty/>
- [32] Running the Robot in Joint, X-Y, or Tool mode. In: *Ccarafa.it* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <http://www.ccarafa.it/RC8/005217.html>
- [33] ZBÍRALOVÁ, Kristýna. Co je to Delta robot a jak funguje? In: *Factoryautomation.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/delta-robot-jak-funguje/>
- [34] WILSON, Mike. Industrial Robots. In: *Sciencedirect.com* [online]. 2015 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/delta-robot>
- [35] MARTINEZ, Jaime. On the basic of workspaces of robotic manipulators. In: *Engineerjau.wordpress.com* [online]. 2013 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://engineerjau.wordpress.com/2013/07/07/on-the-basis-of-workspaces-of-robotic-manipulators-part-1/>
- [36] M-1iA/0.5A. In: *Fanuc.eu* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%af/%C5%99ada-m1/m-1ia-05a>
- [37] ZBÍRALOVÁ, Kristýna. Osy robota: Jak ovlivňují jeho využití? In: *Factoryautomation.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/osy-robota-jak-ovlivnuji-jeho-vyuziti/>
- [38] BREI, Terry M. Micro-Automation and the 6 axis Robot. In: *Surecontrols.com* [online]. 2019 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.surecontrols.com/micro-automation-and-the-6-axis-robot/>

- [39] IRB 120. In: *Abb.com* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-120>
- [40] VACULÍKOVÁ, Eva. Robot nebo kobot? V čem se liší? In: *Talentica.cz* [online]. 2016 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/robot-nebo-kobot/>
- [41] DUCHOSLAV, Petr. Co je to kolaborativní robot? 5 věcí, které byste o něm měli vědět. In: *Factoryautomation.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-je-to-kolaborativni-robot-5-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet/>
- [42] CROWE, Steve. Co je to kolaborativní robot? 5 věcí, které byste o něm měli vědět. In: *Cobottrends.com* [online]. 2019 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.cobottrends.com/cobot-comparison-tool/>
- [43] YANG, Elvina. Cobots are much more than just industrial robots. In: *Asmag.com* [online]. 2019 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.asmag.com/showpost/28485.aspx>
- [44] Historie FANUC. In: *Fanuc.eu* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme/fanuc-historie>
- [45] Company History. In: *Yaskawa.eu* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.yaskawa.eu.com/en/corporate/about-us/yaskawa-history/>
- [46] About ABB Robotics. In: *Abb.com* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/about-us>
- [47] Výrobci průmyslových robotů. In: *Robotum.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://robotum.cz/vyrobci/>
- [48] Historie společnosti KUKA. In: *Kuka.com* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/o-spole%C4%8Dnosti-kuka/historie>
- [49] O Universal robots. In: *Universal-robots.com* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/o-universal-robots/>
- [50] Historie společnosti. In: *Igus.cz* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.igus.cz/info/history>
- [51] Spojovací mat. *Norelem* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: [www.norelem.com/](http://www.norelem.com/)
- [52] LEOPOLDINO, Rogerio. Cópia de SMC Test Nozzle Type Ioniser IZN10 10. *Youtube.com* [online]. 2016 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ixvYwy4YwWU>
- [53] Ionizer / Ion Nozzle SPN-12, 12S. *Youtube.com* [online]. SUNJE, 2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=RRZq2oOfzLs>



## Seznam příložené výkresové dokumentace

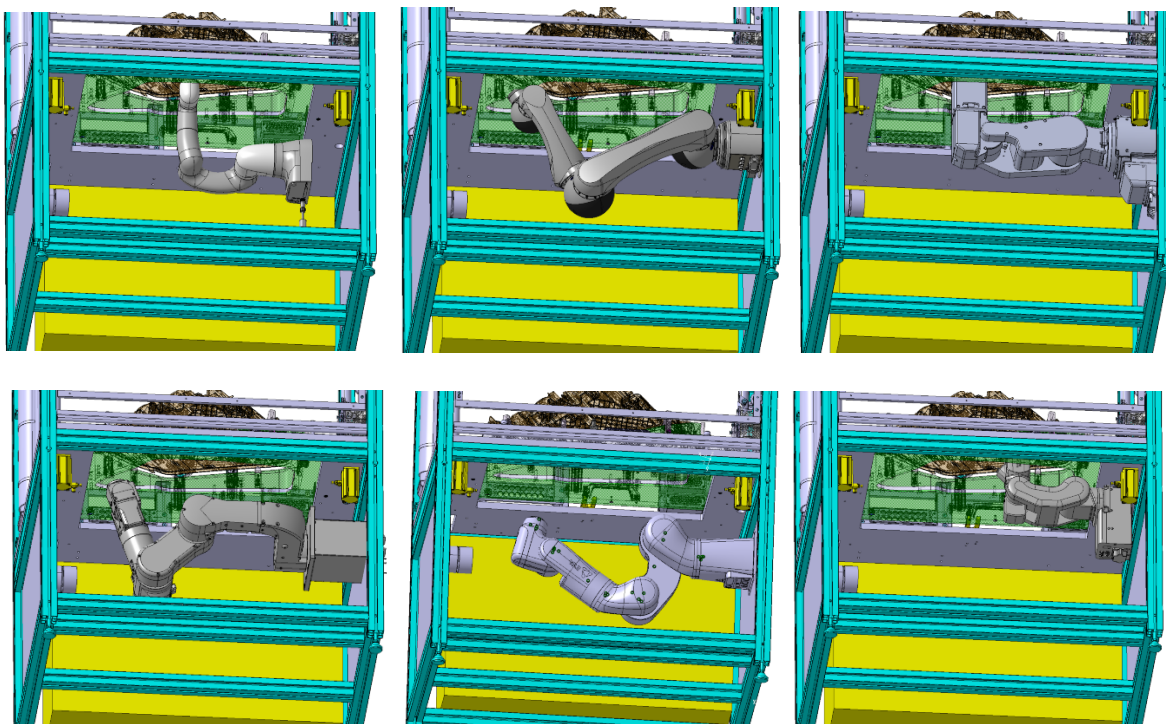
DP_Kuc.T_0000_V01	Main_Frame (Hlavní rám)
DP_Kuc.T_1000_V01	Sink (Prachová vana)
DP_Kuc.T_1001_V01	Sealing_Sink (Tesnění prachové vany)
DP_Kuc.T_1100_V01	Weld_Sink (Svařená prachová vana)
DP_Kuc.T_1101_V01	Sheetmetal1_Sink (Plech 1 prachové vany)
DP_Kuc.T_1102_V01	Sheetmetal2_Sink (Plech 2 prachové vany)
DP_Kuc.T_1103_V01	Sheetmetal3_Sink (Plech 3 prachové vany)
DP_Kuc.T_1104_V01	Sheetmetal4_Sink (Plech 4 prachové vany)
DP_Kuc.T_1105_V01	Tube_Sink (Trubka prachové vany)
DP_Kuc.T_1106_V01	Sheetmetal5_Sink (Plech 5 prachové vany)
DP_Kuc.T_1107_V01	Plate_Sink (Pásovina prachové vany)
DP_Kuc.T_1200_V01	Weld_Bin (Svařený prachový box)
DP_Kuc.T_1201_V01	Sheetmetal1_Bin (Plech 1 prachového boxu)
DP_Kuc.T_1202_V01	Sheetmetal1_Bin (Plech 2 prachového boxu)
DP_Kuc.T_1203_V01	Sheetmetal1_Bin (Plech 3 prachového boxu)
DP_Kuc.T_1204_V01	Sheetmetal1_Bin (Plech 4 prachového boxu)
DP_Kuc.T_2000_V01	Support (Upevnění robota)
DP_Kuc.T_2001_V01	Vertical_Profile1_104590 (Vertikální profil 1 45x90)
DP_Kuc.T_2002_V01	Horizntal_Profile1_104545 (Horizontální profil 1 45x45)
DP_Kuc.T_2003_V01	Horizntal_Profile2_104545 (Horizontální profil 2 45x45)
DP_Kuc.T_2004_V01	Support_Desk (Deska upevnění robota)
DP_Kuc.T_2005_V01	Support_Sheetmrtal (Plech pro odkládání prachového boxu)
DP_Kuc.T_3000_V01	Robots Setup (Setava robota)
DP_Kuc.T_3001_V01	Holeder (Plastový držák trysky a kamery)

DP_Kuc.T _4000_V01	Filtration_Box (Filtrační box)
DP_Kuc.T _4001_V01	Cover_Of_Air_Box (Výko filtračního boxu)
DP_Kuc.T _4002_V01	Rubber_Sealing (Těsnění filtračního boxu)
DP_Kuc.T _4003_V01	Conecting_Tube (Spojovací trubka)
DP_Kuc.T _4004_V01	Conecting_Tube_From_Filter (Spojovací trubka z filtr. boxu)
DP_Kuc.T _4100_V01	Weld_Circle_Air_Box (Svařený vzduchový box)
DP_Kuc.T _4101_V01	Main_Sheetmetal_Air_Box (Hlavní plech vzduch. boxu)
DP_Kuc.T _4102_V01	Rear_Sheetmetal_Air_Box (Zadní plech vzduch. boxu)
DP_Kuc.T _4103_V01	Front_Sheetmetal_Air_Box (Přední plech vzduch. boxu)
DP_Kuc.T _4104_V01	Deflector_Sheetmetal_Air_Box (Plechový vychylovač vzd.)
DP_Kuc.T _4105_V01	Air_Box_Holder (Držák vzduchového boxu)
DP_Kuc.T _4106_V01	Trussing_Sheetmetal (Příhradový plech)
DP_Kuc.T _4107_V01	Latches_Plate (Pásovina pro sponu)

## Seznam příloh

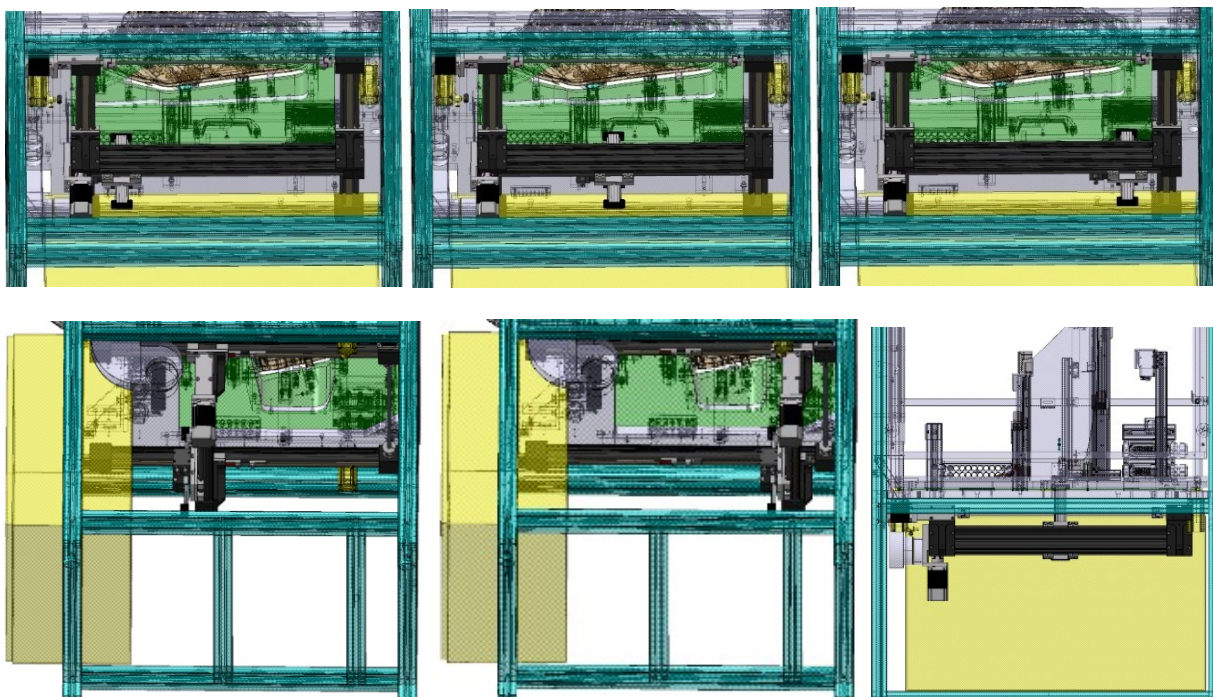
Příloha A	Přehled nevyhovujících robotů
Příloha B	Krajní polohy tři variant manipulačního zařízení
Příloha C	Analýza upevnění robota UR3
Příloha D	Graf nosnosti robota v závislosti nákladu na jeho těžišti
Příloha E	Analýzy plechového dílu tloušťky 1 mm
Příloha F	Vlastnosti použitých materiálů pro upevnění trysky a kamery
Příloha G	Analýzy neupraveného plastového dílu
Příloha H	Stav světlometů před čištěním

## Příloha A



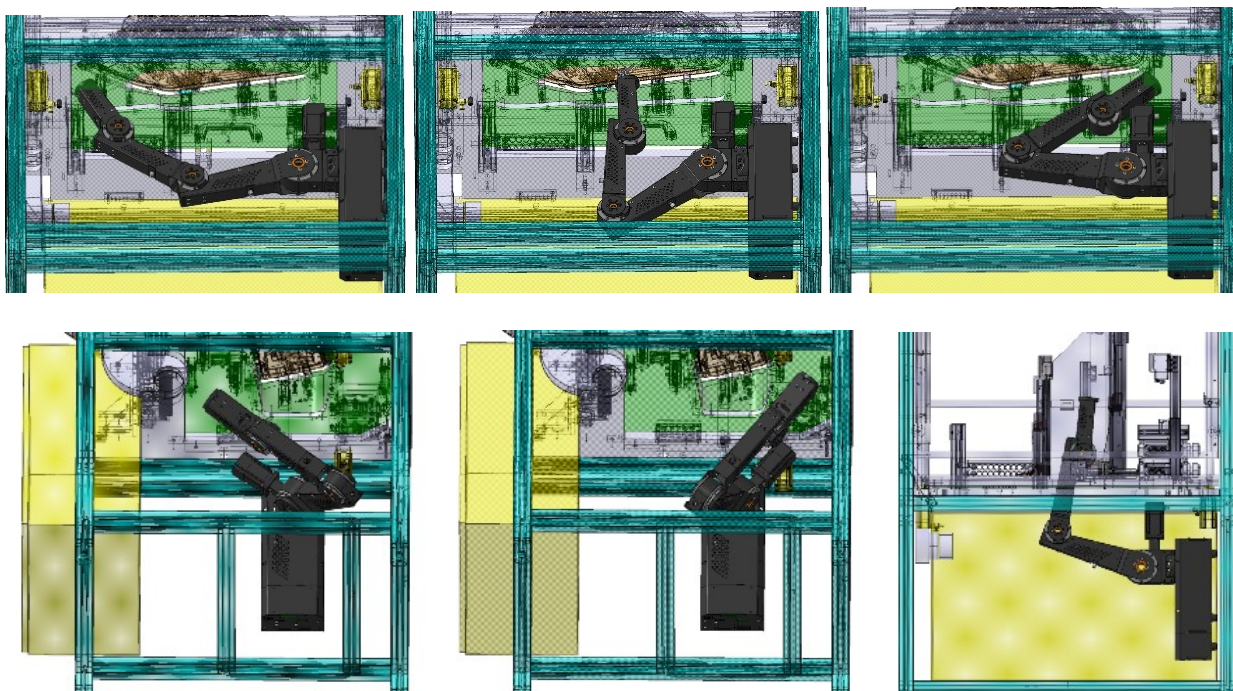
*Obr. Nevyhovující roboty*

## Příloha B

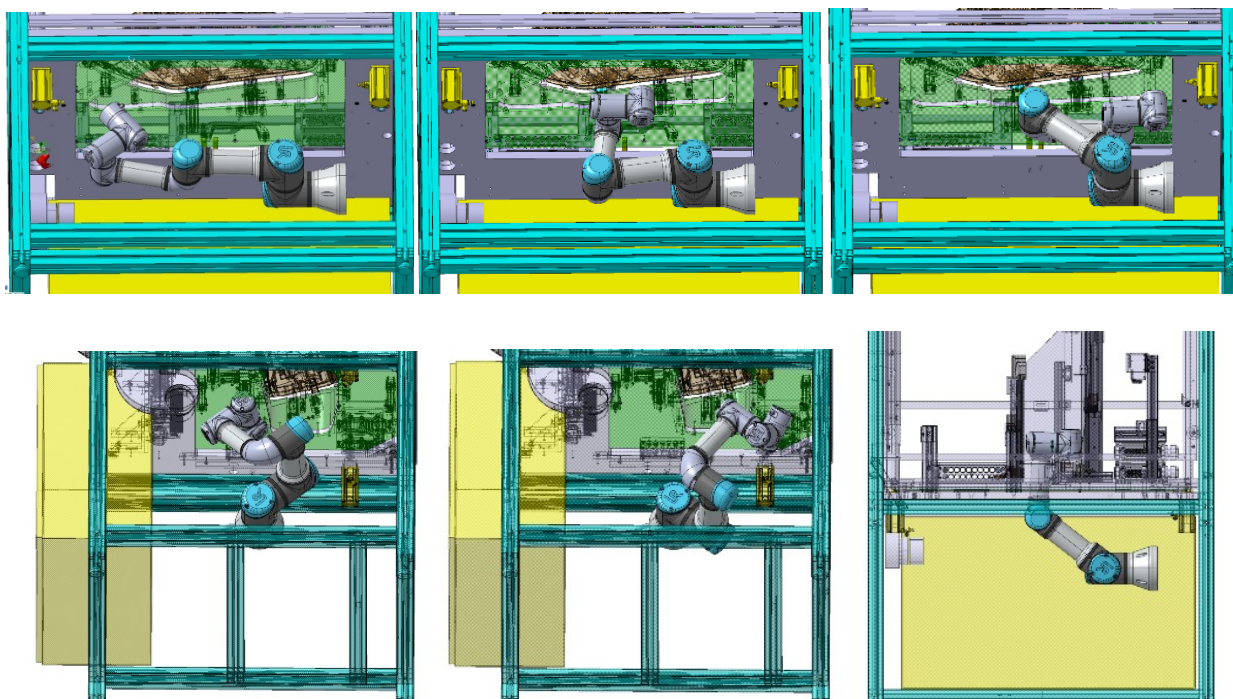


*Obr. Dosahu portálového robota*





*Obr. Dosahu 5osého robota*



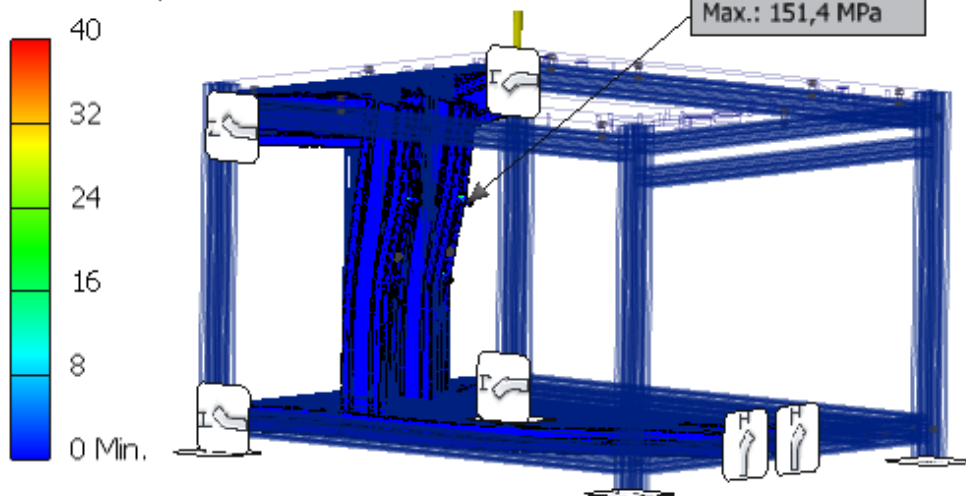
*Obr. Dosahu kolaborativního robota*

## Příloha C

Typ: Napětí Von Mises

Jednotka: MPa

16.04.2020, 9:24:10

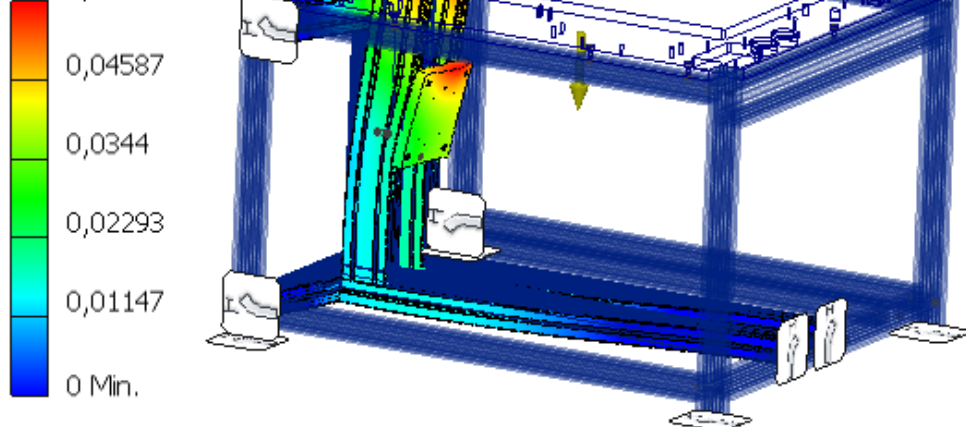


Typ: Posunutí

Jednotka: mm

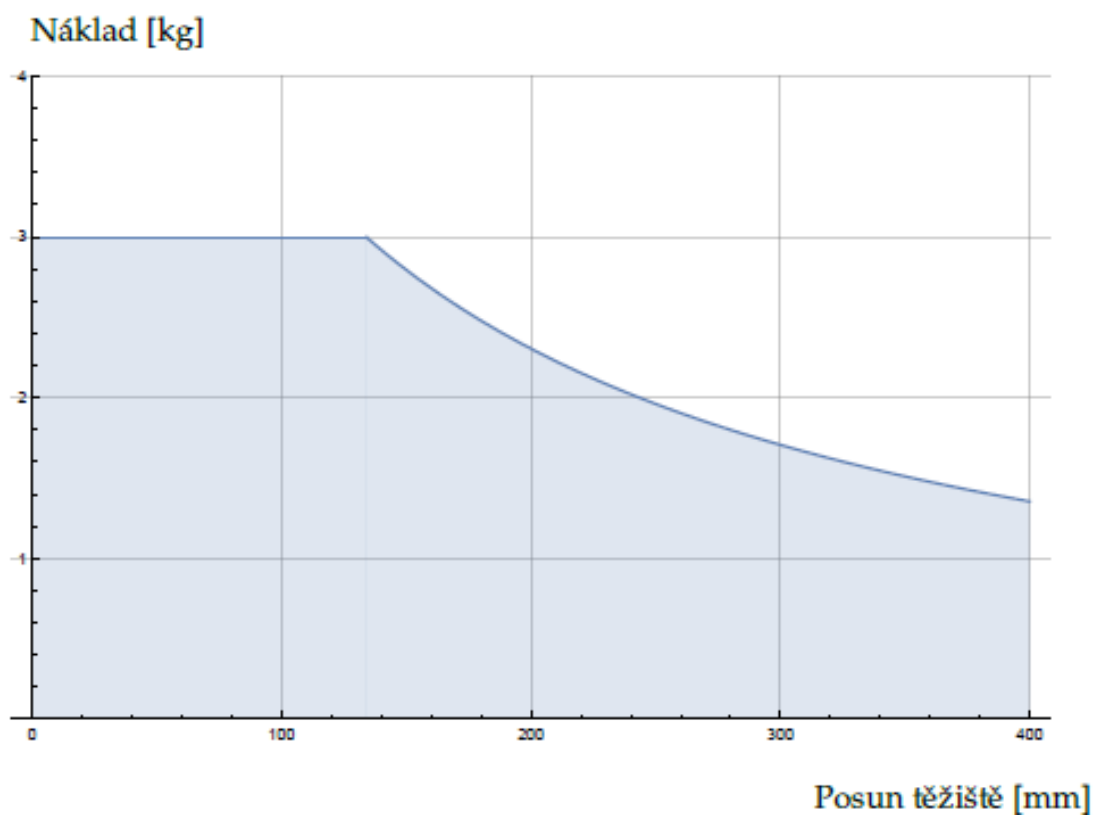
16.04.2020, 9:43:21

0,05733 Max.



*Obr. Analýza upevnění robota UR3*

## Příloha D

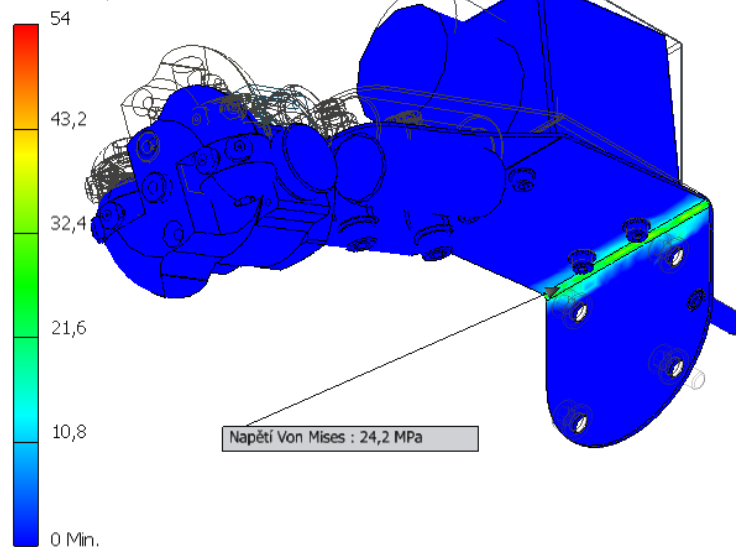


*Obr. Graf nosnosti robota v závislosti nákladu na jeho těžišti*

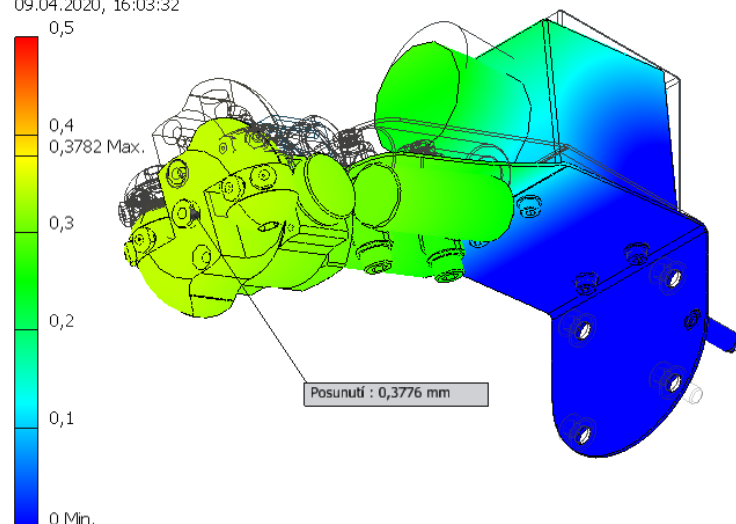
*<https://www.universal-robots.com/download/?option=69036>*

## Příloha E

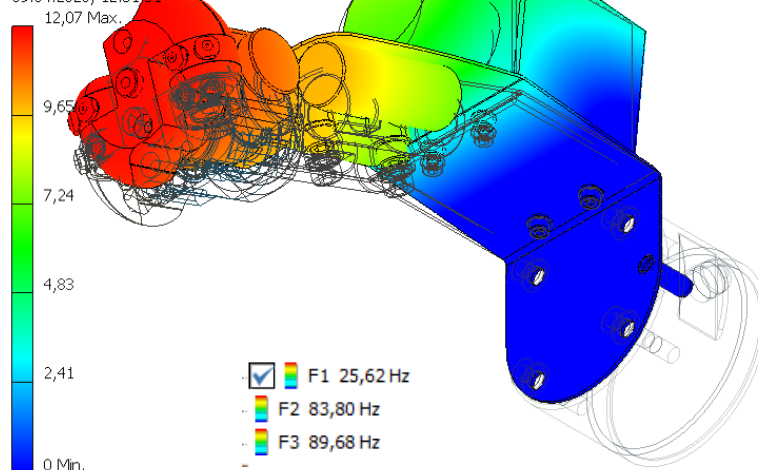
Typ: Napětí Von Mises  
Jednotka: MPa  
09.04.2020, 16:00:55



Typ: Posunutí  
Jednotka: mm  
09.04.2020, 16:03:32



Typ: Posunutí  
Jednotka: mm  
09.04.2020, 12:31:21



Obr. Analýzy plechového dílu 1 mm



## Příloha F

### Mechanické vlastnosti:

Jakost	Pevnost	Mez skluzu		Tažnost	Svařování	Tažnost Tvárění	Korozní odolnost	max. T použití
	R <sub>m</sub> (Mpa)	RP0,1 (Mpa)	RP0,2 (Mpa)	A 50 (50%)				
1.4016	450-600		280	20	2	2	2	100°C
1.4301	540-750	260	230	45	3	5	3	400°C
1.4306	520-670	250	220	45	5	4	4	650°C
1.4307	520-700	250	220	45	4	5	4	400°C
1.4401	530-680	270	240	40	4	3	5	500°C

*Obr. Vlastnosti korozivzdorné oceli 1.4301 / X5CrNi18 10 / 17 24*

<http://www.alfun.cz/korozivzdorna-ocel-nerez>

### Mechanické vlastnosti EN AW-5083 podle EN 485-2

EN AW -	Specifikovaná tloušťka mm		Pevnost v tahu N/mm <sup>2</sup>		0,2% mez kluzu N/mm <sup>2</sup>	Tažnost min. %		Poloměr oblouku (zakřivení) °		Tvrdost <sup>1)</sup> HBS
	nad	do	min.	max.	min.	50mm	A	180°	90°	
5083 O/H111	0,2	0,5	275	350	125	11		1,0	0,5 t	75
	0,5	1,5	275	350	125	12		1,0 t	1,0 t	75
	1,5	3,0	275	350	125	13		1,5 t	1,0 t	75
	3,0	6,0	275	350	125	15			1,5 t	75
	6,0	12,5	275	350	125	16			2,5 t	75
	12,5	50,0	275	350	125		15			75
	50,0	80,0	270	345	115		14			75
	80,0	120,0	260		110		12			70
	120,0	150,0	255		105		12			69

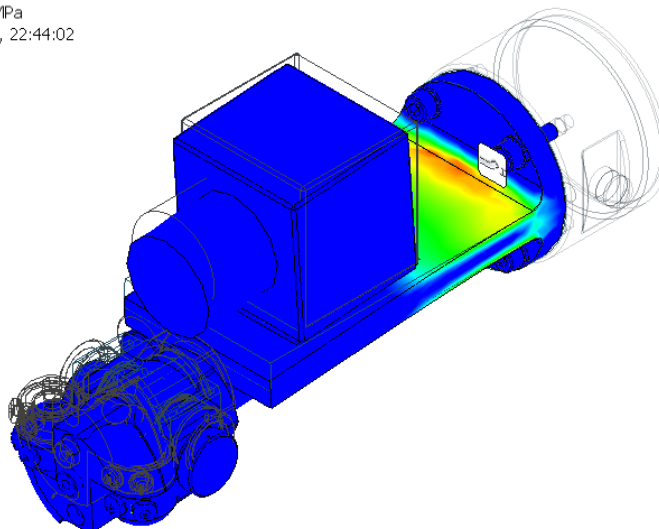
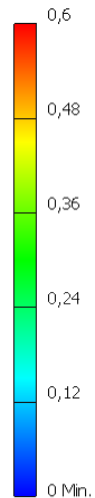
*Obr. Vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 5083 H111*

<http://www.alunet.cz/ENAW-5083>

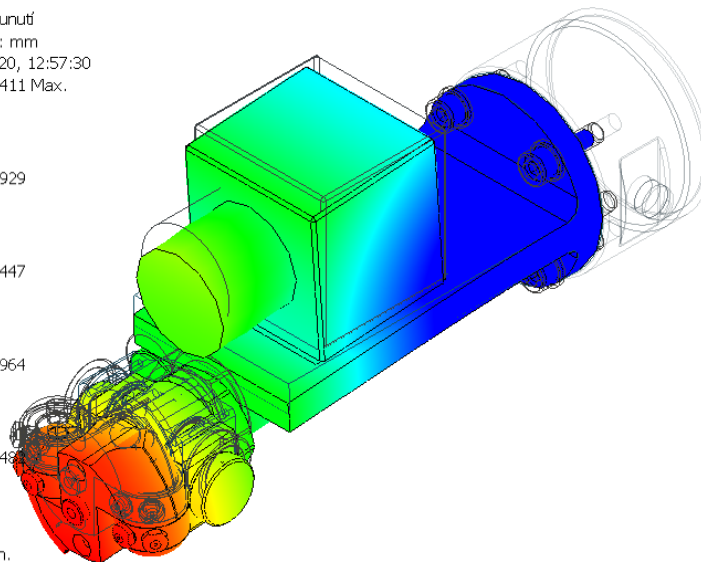
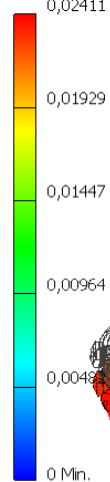


## Příloha G

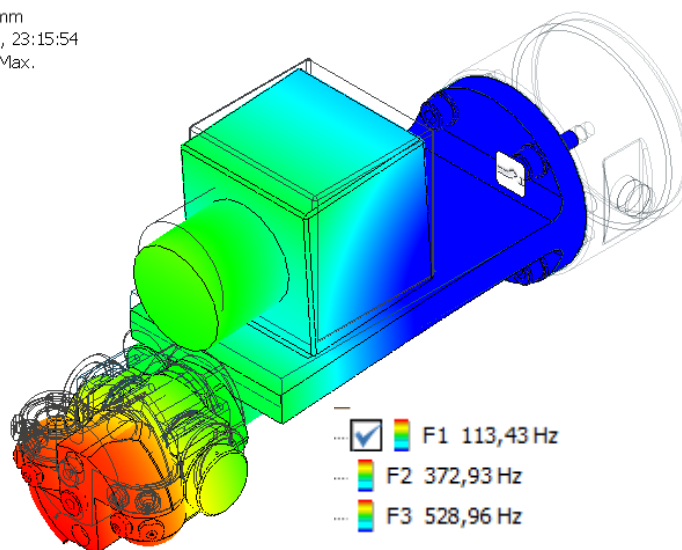
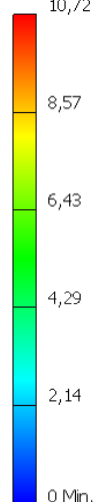
Typ: Napětí Von Mises  
Jednotka: MPa  
29.03.2020, 22:44:02



Typ: Posunutí  
Jednotka: mm  
09.04.2020, 12:57:30  
0,02411 Max.



Typ: Posunutí  
Jednotka: mm  
29.03.2020, 23:15:54  
10,72 Max.



☒ F1 113,43 Hz  
..... F2 372,93 Hz  
..... F3 528,96 Hz

Obr. Analýzy neupraveného plastového dílu

## Příloha H



*Obr. Stav světlometů před čištěním pro první variantu*



*Obr. Stav světlometů před čištěním pro druhou variantu*